

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулого
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)
Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Олександр ГАВВА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»

на тему: Удосконалення машини РТМ41МЗ виготовлення таблеток роторного типу продуктивністю 200 тис. шт/год

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-2-4М

Савіцький Євгеній Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Чепелюк Олександр Миколайович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулого
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв
Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Освітньо-професійна програма: Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАХФВ

_____ **Олександр ГАВВА**
“ ____ ” _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Савіцького Євгенія Леонідовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення машини РТМ41М3 виготовлення таблеток роторного типу продуктивністю 200 тис. шт/год»

_____ керівник роботи Чепелюк Олександр Миколайович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

1.1 затвержені наказом закладу вищої освіти від 17.09.2025 р. № 712-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 16.12.2025

3. Вихідні дані до роботи паспорт роторної таблетувальної машини РТМ41М3; креслення обладнання; навчальна, нормативна та спеціальна література.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація (українською та англійською мовами); теоретичні основи процесу пресування таблеток з сировини, технологічні розрахунки, пропозиція з модернізації живильного пристрою, результати симуляції роботи модернізованого вузла, охорона праці, висновки, список використаних джерел, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Креслення: загальний вид роторної таблетувальної машини РТМ41М3; вузол дозування модернізований; вузол дозування.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 18.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділи пояснювальної записки:		
1	Вступ	23.09.2025	виконано
2	Аналітичний огляд обладнання і технологій для виготовлення таблеток	06.10.2025	виконано
3	Техніко-економічне обґрунтування	13.10.2025	виконано
4	Параметри сировини та готової продукції	20.10.2025	виконано
5	Аналіз обладнання та принцип роботи, шляхи модернізації	27.10.2025	виконано
6	Розрахунки	03.11.2025	виконано
7	Дослідження роботи модернізованого вузла	10.11.2025	виконано
8	Результати досліджень	17.11.2025	виконано
9	Аналіз конструкційних матеріалів у фармацевтичній промисловості	24.11.2025	виконано
10	Технологія складання модернізованого вузла	01.12.2025	виконано
11	Регламент монтажу, ремонту та експлуатації обладнання	05.12.2025	виконано
12	Охорона праці	08.12.2025	виконано
13	Основні принципи управління обладнанням	10.12.2025	виконано
7	Висновки	10.12.2025	виконано
8	Список використаних джерел	12.12.2025	виконано
9	Презентація та креслення	15.12.2025	виконано

Здобувач

_____ (підпис)

Євгеній САВІЦЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександр ЧЕПЕЛЮК

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

До складу магістерської роботи «Удосконалення машини РТМ41М3 виготовлення таблеток роторного типу продуктивністю 200 тис. шт/год» входить пояснювальна записка у обсязі 125 сторінок. В її складі присутні 23 ілюстрації, 8 таблиць, 7 додатків, 4 креслення формату А1 та 31 посилання.

Метою даної роботи є розгляд будови роторної таблетувальної машини РТМ41М3 та окремих її вузлів. Детально розглянуто будову вузла дозування та проаналізовано переваги та недоліки його конструкції. На основі цього аналізу запропоновано модернізацію конструкції обладнання. Це дозволить спростити його будову та покращити ергономічність цього вузла машини, що має позитивно відобразитися на зручності роботи та часі переналаштуванні живильника.

Створення 3д моделі проводилося в програмному продукті з широким функціоналом Fusion 360.

Кінцевим результатом проведеної роботи є побудована 3д модель модернізованого вузла, а також конструкторська документація на нього, включаючи складальне креслення та специфікації.

Ключові слова: таблетки, роторна таблетувальна машина, вібраційний живильник, таблетковий прес.

ANNOTATION

The master's thesis “Improvement of the RTM41M3 rotary tablet machine with a capacity of 200,000 tablets per hour” includes an explanatory note of 125 pages. It contains 23 illustrations, 8 tables, 7 appendices, 4 drawings, and 31 references.

The purpose of this work is to examine the structure of the RTM41M3 rotary tableting machine and its individual components. The structure of the dosing unit will be examined in detail and the advantages and disadvantages of its design will be analyzed. Based on this analysis, a modernization of its design will be proposed. This will simplify its structure and improve the ergonomics of this machine component. This should have a positive effect on the convenience of operation and the time required to reconfigure the feeder.

The 3D model will be created using the Fusion 360 software product with its wide range of functions.

The end result of the work is a 3D model of the modernized unit, as well as design documentation for it, including assembly drawings and specifications.

Keywords: tablets, rotary tableting machine, vibratory feeder, tablet press.

ЗМІСТ	
Вступ.....	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТАБЛЕТОК.....	11
1.1 . Мета магістерської роботи	11
1.2 Теоретичний розділ.....	12
1.3 Процеси виготовлення твердих таблеток	13
1.4 Типи та класифікація таблетувального обладнання	15
1.5 Основні принципи роботи пресів та їх характеристичні параметри	16
1.6 Переваги та обмеження різних типів пресів	19
1.7 Актуальність огляду: місце для модернізації.....	19
2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	21
2.1. Актуальність та загальні відомості	21
2.2. Процеси таблетування та їх особливості.....	21
2.3. Дозування та плинність матеріалу	22
3. ПАРАМЕТРИ СИРОВИНИ ТА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ	24
4. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ, ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	27
4.1. Склад виробу та комплект поставки	27
4.2. Будова машини роторної РТМ41М3	27
4.4 Опис пропозиції з модернізації	45

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Чепелюк О. М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник НУХТ ОФ-2-4М	Розробник документа Савицький Є. Л.	Назва, додаткова назва	240280.MP.05.000 ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд.змі.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/123

5. РОЗРАХУНКИ.....	49
5.1. Технологічні розрахунки роторної таблетувальної машини RTM41M3	49
5.2 Розрахунок продуктивності.....	53
5.3.Конструктивні розрахунки	55
5.3.1. Дозування прес-порошків при таблетуванні	55
5.3.2.Розміри таблеток і визначення зусиль, що діють на робочі органи	58
5.4. Кінематичні розрахунки	61
5.5 Розрахунок потужності приводу.....	63
5.6 Розрахунок прес-інструменту	66
6. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ВУЗЛА.....	69
6.1 Симуляція заповнення матриць в модернізованому вузла RTM41M3	69
6.2 Методи досліджень	69
7. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	77
8 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У ФАРМАЦЕВТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	79
8.1 Основні сплави.....	79
8.2 Корозія в аустенітній нержавіючій сталі та принципи захисту від неї.....	80
9 ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ВУЗЛА.....	84
10 РЕГЛАМЕНТ МОНТАЖУ, РЕМОНТУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ	87
10.1. Монтаж і наладка	87

10.2. Порядок роботи	88
10.3. Технічне обслуговування.....	90
10.4 Огляди	91
10.5 Система змащення	92
10.6 Ремонт машини роторної.....	95
10.7 Розрахунок основних параметрів ремонту	99
10.8 Трудомісткість слюсарних і верстатних робіт	101
10.9 Трудомісткість інших видів роботи:	101
10.10 Правила зберігання і транспортування.....	101
10.11 Відомості про консервацію та упаковку	102
10.12 Розконсервування	102
11 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	103
11.1 Загальні положення.....	103
11.2 Вимоги безпеки при виробництві.....	103
11.3 Правила безпеки	104
11.4 Заходи безпеки при обслуговуванні машини РТМ41М3	107
12 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ	110
ВИСНОВКИ.....	112
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	114
ДОДАТКИ	118

Вступ

Забезпечення якості та терапевтичної ефективності є пріоритетом фармацевтичного виробництва. Таблетки залишаються основною твердою формою розповсюдження лікарських засобів завдяки стабільності активних компонентів, точності їх вмісту та можливості високопродуктивного виготовлення. Створення таблетки - це складний технологічний процес, що вимагає синергії фармакології та інженерії. Критичною ланкою є стадія пресування, де спеціалізовані машини здійснюють формування структури таблетки з порошкоподібної суміші за рахунок контрольованого силового впливу.

Розвиток технологій справді змінив вигляд фармацевтичного виробництва, зробивши його швидшим та якіснішим. Сучасні роторні преси - це вже не просто механічні верстати, а «розумні» машини, які вміють самі контролювати силу тиску і стабільність роботи. Завдяки автоматизації ми майже виключаємо людські помилки. Це означає, що кожна таблетка відповідає заданим вимогам: правильної ваги, міцності та з точною дозою діючої речовини, що гарантує пацієнтам безпеку, а виробнику - повну відповідність суворим міжнародним стандартам.

Технологія таблетування базується на суворому контролі кожного виробничого етапу. Спочатку порошкова маса проходить вхідний контроль на сипучість і вологовміст, адже від цього залежить рівномірність заповнення форм. Після цього слідує основні операції на пресі: завантаження матеріалу в матричні гнізда, безпосереднє пресування та вилучення готового виробу.

Будь-яке порушення технологічного процесу на цих стадіях неминує призводить до появи дефектів: таблетки можуть мати недостатню міцність, нерівну поверхню або страждати від розшарування. Саме через це перед фахівцями стоїть важливе завдання - детальне дослідження конструктивних особливостей обладнання та пошук оптимальних режимів роботи, які дозволить мінімізувати ризики та забезпечити стабільний випуск високоякісної продукції.

Коли мова заходить про вибір пресувального верстата, не існує універсального рішення - все вирішують вимоги до кінцевого виробу (обсяги партії та характеристики порошкової суміші). Обладнання на ринку поділяється на дві основні категорії: для масового та для малосерійного виробництва. Зазвичай малосерійне обладнання використовують у лабораторіях під час досліджень, або при виготовлення експериментальних партій.

Якщо ваша мета - серійний випуск ліків для аптечних мереж, то без роторних пресів не обійтися. Їхня головна перевага - надзвичайно висока продуктивність, яка є безперечно важливою для бізнесу. А от у лабораторіях під час розробки нових препаратів чи виготовлення невеликих, ексклюзивних серій краще підходять однопуансонні машини. Вони простіші, компактні та дозволяють уникнути довгого та складного налаштування режимів роботи.

Отже, дослідження та вдосконалення технології виготовлення таблеток на пресувальних верстатах має неабияке практичне значення для розвитку фармацевтичної галузі. Вони дозволяють оптимізувати виробничий процес, підвищити якість та безпечність продукції, а також забезпечити конкурентоспроможність фармацевтичного підприємства на ринку.

У даній роботі буде проаналізовано конструкцію роторних пресувальних верстатів на прикладі роторної таблетувальної машини РТМ41М3. Розглянуто принцип роботи машини та окремих її вузлів і вплив технологічних параметрів на властивості таблеток. На основі розглянутого буде запропоновано модернізацію окремих вузлів роторної таблетувальної машини РТМ41М3.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТАБЛЕТОК

1.1 . Мета магістерської роботи

Метою цієї магістерської роботи є аналізування, розробка технічних рішень та оцінка заходів з модернізації вузла роторного таблетувального верстата РТМ41МЗ. Таке рішення має забезпечити підвищення його продуктивності, надійності, точності дозування сировини та відповідності сучасним вимогам фармацевтичного виробництва. Особлива увага буде приділятися удосконаленню механізму подачі сировини - живильника верстата та оптимізації технологічного процесу таблетування.

Для реалізації поставленої мети передбачається вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючу конструкцію пресувального верстата РТМ41МЗ, його технічні характеристики, принцип роботи та виявити недоліки, що обмежують ефективність експлуатації;
- дослідити сучасні тенденції у розвитку обладнання для таблетування та визначити можливості інтеграції нових технічних рішень у конструкцію РТМ41МЗ;
- оцінити механічні, технологічні та експлуатаційні параметри роботи верстата, зокрема рівномірність заповнення матриць, знос вузлів і вплив цих факторів на якість таблеток;
- розробити проєкт модернізації окремих вузлів, таких як система подачі порошкової маси;
- обґрунтувати відповідність модернізованого обладнання вимогам та стандартам безпеки.

Здійснення цих завдань дозволить підвищити ефективність роботи верстата РТМ41МЗ, продовжити його експлуатаційний ресурс, зменшити втрати продукції та забезпечити більш стабільний процес виготовлення таблеток із високими якісними показниками.

1.2 Теоретичний розділ

Процес виготовлення таблеток належить до найбільш поширених технологічних операцій у фармацевтичній промисловості. Його суть полягає у формуванні дозованої твердої лікарської форми шляхом пресування порошкової маси у матриці під дією механічного тиску. В основі процесу лежать фізичні явища ущільнення, деформації частинок та їх зчеплення між собою, що забезпечує формування міцної та стабільної структури таблетки.

Виробництво таблеток включає кілька ключових етапів: підготовку сировини, змішування компонентів, гранулювання (за необхідності), сушіння, просіювання, таблетування та подальші операції контролю якості. Від якості вихідної суміші залежить сипучість, рівномірність дозування та формування однорідної структури готового виробу. [1] Особливе значення мають допоміжні речовини — наповнювачі, зв'язувальні та дезінтегруючі компоненти, що визначають технологічні властивості порошкової маси та фармакотехнологічні характеристики таблеток.

Центральним елементом процесу є пресування. Пресувальні верстати поділяються на два основні типи: однопуансонні та ротаційні. Однопуансонні преси забезпечують послідовне формування кожної таблетки окремо, що дозволяє точно контролювати параметри процесу та використовувати їх із навчальною або дослідницькою метою. Ротаційні преси, своєю чергою, характеризуються високою продуктивністю, оскільки таблетки формуються одночасно у великій кількості матриць, розташованих на роторах. Таке обладнання широко застосовується на промислових фармацевтичних підприємствах, де налагоджено масове виробництво продукції.

Принцип роботи пресувального верстата полягає у тому, що порошкова маса подається у матрицю, після чого верхній та нижній пуансони рухаються назустріч один одному. таким чином створюють тиск, який ущільнює частинки та забезпечує формування таблетки заданої форми і розміру. На якість виробу

впливають такі параметри, як величина зусилля стиснення, швидкість обертання ротора (для ротаційних пресів), рівномірність заповнення матриць та фізико-хімічні властивості суміші. Надто високе зусилля пресування може призвести до ламкості та розшарування таблетки, тоді як недостатній тиск формує вироби з низькою міцністю та нерівномірною структурою.

У процесі пресування таблеток можливі різні дефекти: розтріскування, сколювання країв, розшарування, склеювання поверхонь пуансонів із масою тощо. Їх виникнення зумовлене недосконалістю сировини, невідповідними технологічними параметрами або конструкційними особливостями обладнання. Ефективне управління процесом передбачає правильний вибір допоміжних речовин, оптимальне регулювання режимів пресування та регулярний технічний контроль стану пресувального обладнання.

Таким чином, теоретичне вивчення процесу таблетування дозволяє зрозуміти взаємозв'язок між властивостями порошкової маси, конструкціями пресувальних верстатів і якістю кінцевого продукту. Це створює основу для розробки оптимальних технологічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності та стабільності фармацевтичного виробництва.

1.3 Процеси виготовлення твердих таблеток

Виготовлення твердих таблеток є одним із найпоширеніших технологічних процесів у фармацевтичній промисловості, оскільки таблетки забезпечують точне дозування, високу стабільність лікарських речовин, зручність транспортування та застосування. Технологія виробництва таблеток включає низку взаємопов'язаних етапів, кожен з яких впливає на якість кінцевої продукції та її відповідність вимогам фармацевтичних стандартів.

Першим етапом є підготовка сировини. Активні фармацевтичні інгредієнти та допоміжні речовини підлягають перевірці на чистоту, вологість та рівномірність складу. Подрібнення та просіювання забезпечують

досягнення однорідної структури порошкової маси, що є необхідною умовою для рівномірного дозування.

Наступним етапом є змішування компонентів. На цьому етапі до активних фармацевтичних інгредієнтів додають наповнювачі, дезінтегруючі, зв'язувальні, ковзні та інші допоміжні речовини, що забезпечують потрібні технологічні та фармакологічні властивості готових таблеток. Важливо досягти максимально рівномірного розподілу активної речовини в масі, щоб уникнути коливань у дозуванні.

У разі поганої пресуваності або низької сипучості порошків застосовують гранулювання. Традиційно використовують вологе та сухе гранулювання.

- Вологе гранулювання полягає у змочуванні порошкової суміші розчином зв'язувальної речовини з подальшим пропусканням її через сітку для утворення гранул. Після цього гранулят сушать до необхідної залишкової вологості. При використанні вологого гранулювання поширено використання крохмального гелю різної концентрації та розчину полівінілпіролідону, проте також використовуються інші види зволожувачів. [2]
- Сухе гранулювання передбачає ущільнення порошків у валкових пресах або ротаційних пресах без використання рідин, що є важливим для термолабільних чи вологочутливих субстанцій. [3]

Отриманий гранулят піддають просіюванню та контролю розміру частинок, після чого додають ковзні речовини, що зменшують тертя та забезпечують рівномірне заповнення матриць під час пресування.

Ключовою фазою технології є таблетування (пресування). Процес відбувається на спеціальних пресувальних верстатах, де порошкова або гранульована маса засипається у матрицю, після чого під дією верхнього та нижнього пуансонів ущільнюється до заданої форми та міцності. Параметри пресування (сила тиску, швидкість роботи пресу, час утримання тиску) істотно

впливають на якість таблеток. Низьке зусилля стиснення може спричинити ламкість і кришіння, тоді як надмірне зусилля - розшарування таблетки.

Забезпечити легший вихід таблетки з матриць допомагають змащувальні речовини (лубриканти). [7]

Після пресування таблетки проходять контроль якості, під час якого перевіряють масу, твердість, час розпадання, стиранність, зовнішній вигляд та однорідність дозування. Відповідність цим показникам визначає стабільність технологічного процесу та допустимість випуску продукції.

Заключним етапом є маркування, пакування і зберігання готової продукції. Пакування має забезпечувати захист від вологи, механічних пошкоджень та світла, оскільки ці фактори можуть знижувати стабільність активних речовин.

Таким чином, процеси виготовлення традиційних таблеток є складною багатостадійною системою, що поєднує фізико-хімічні, технологічні та механічні операції. Контроль кожного з етапів має вирішальне значення для забезпечення високої якості та безпечності лікарських засобів.

1.4 Типи та класифікація таблетувального обладнання

- Однопуансонні (екцентрикові / ударні) преси - прості машини, де для формування кожної таблетки задіяний один пуансон і одна матриця. Це компактні, порівняно недорогі пристрої, які часто застосовують у лабораторіях, для дослідних чи малосерійних виробництв. [4]
- Ротаційні (багатостанційні) преси - промислові машини, в яких на ротаторі розташовано багато комплектів пуансонів і матриць. Обертання ротора забезпечує циклічне заповнення матриць порошком, пресування і виштовхування таблеток, що дає змогу досягти дуже високої продуктивності [5].



Рисунок 1.1 - Ротаційний прес [6]

- Мультишарові або багатошарові ротаційні преси - спеціальні машини для виготовлення таблеток із декількома шарами (наприклад, для комбінованих препаратів або для реалізації різних профілів вивільнення діючої речовини). Вони мають кілька бункерів для різних сумішей, а матриця / пуансони забезпечують послідовне пресування кожного шару. Кожен тип має свою нішу застосування: лабораторні/дослідні - для однопуансонних, малосерійних чи тестових партій; серійне - для ротаційних, багатошарових пресів.

1.5 Основні принципи роботи пресів та їх характеристичні параметри

У ротаційних пресах процес таблетування включає три ключові стадії - заповнення матриці порошковою або гранульованою масою, пресування під дією пуансонів і виштовхування готової таблетки. [6]

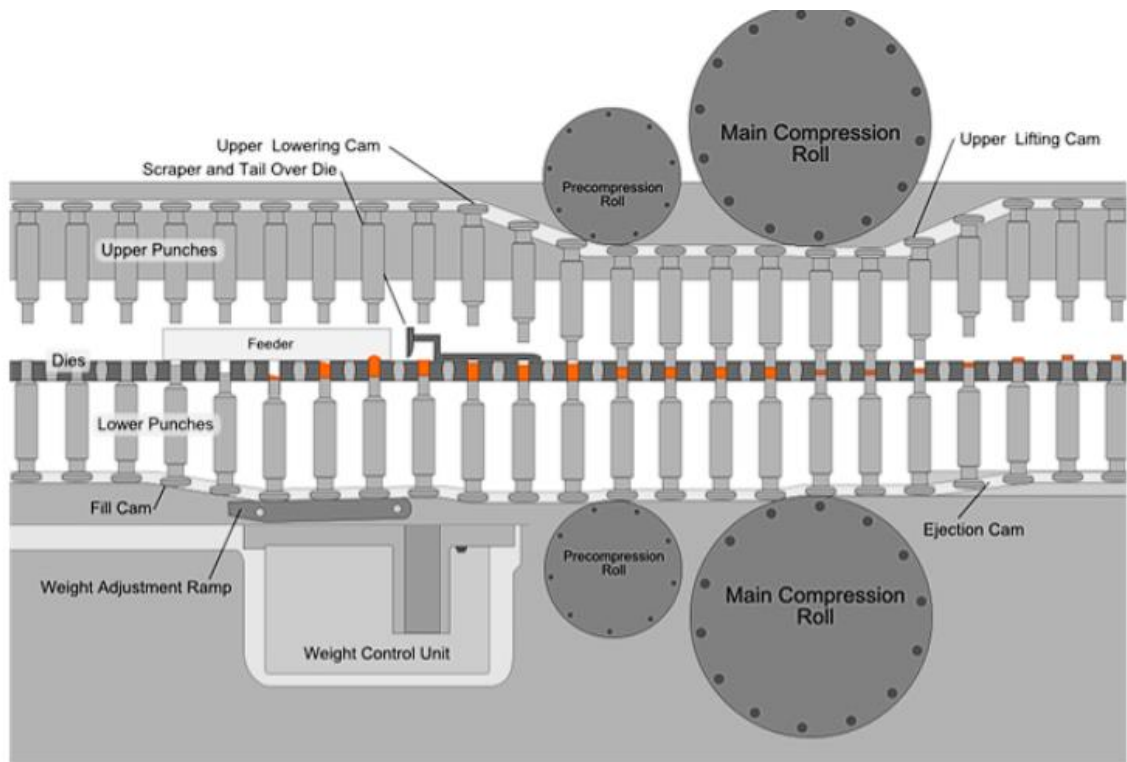


Рисунок 1.2 - Принцип дії ротаційного пресу [6]



Рисунок 1.3 - Ротаційний прес [6]



Рисунок 1.4 - Принцип роботи та основні структури [6]

Основні технічні параметри, на які необхідно звернути увагу при виборі обладнання:

Таблиця 1.1

Параметр	Коментар
Кількість станцій (комплектів пуансонів/матриць)	Від 1 (для однопуансонних) до десятків - для ротаційних, що впливає на продуктивність
Максимальне зусилля (тиск пресування)	Визначає міцність та щільність таблетки
Діаметр і товщина таблетки	Відповідно до рецептури, діаметра матриці та пуансонів
Глибина заповнення матриці, система подачі порошку / грануляту	Впливає на рівномірність дозування та заповнення матриці перед пресуванням

Швидкість (частота циклів) або швидкість обертання ротора	Основний фактор продуктивності; деякі машини здатні виробляти десятки тисяч до сотень тисяч таблеток за годину
---	--

1.6 Переваги та обмеження різних типів пресів

Одноуансонні преси

Переваги: простота, зручність для дослідів, невелика вартість, невеликі обсяги сировини, простота переналаштування.

Недоліки: низька продуктивність, нерівномірне пресування (тиск односпрямований), менш стабільна якість при серійному виробництві.

Ротаційні преси

Переваги: висока продуктивність, рівномірність пресування, стабільність дозування й властивостей таблеток, можливість серійного виробництва, ефективність при масштабному виробництві.

Недоліки / обмеження: потреба у якісному грануляті або порошку з хорошими сипучими властивостями, складність конструкції, потреба в обслуговуванні, первісні інвестиції, складність переналаштування при зміні типів таблеток або рецептур. [8]

1.7 Актуальність огляду: місце для модернізації

Оскільки існує широкий спектр конструкцій і принципів роботи таблетувального обладнання, важливо мати чітке розуміння їх переваг і обмежень для вибору чи модернізації - особливо якщо йдеться про установку на підприємстві або оновлення вже наявного устаткування. Наприклад, при модернізації преса (як у нашому випадку з РТМ41М3) доцільно врахувати:

- можливості ротаційної технології - якщо потрібно збільшити продуктивність і стабільність таблеток;

- вимоги до сипучості та гранулометричного складу суміші, якщо початкова сировина не має оптимальних властивостей;
- необхідність систем контролю та налаштування параметрів пресування для забезпечення повторюваності й якості;
- потребу у додаткових вузлах - системи подачі, змащування, пиловловлювання, очищення - для зручності обслуговування та безпеки.

Багато сучасних пресів оснащені автоматизованими системами контролю зусилля пресування, подачі, сенсорами, а також можливостями для виготовлення мультишарових таблеток, що дає значні переваги перед застарілими моделями.

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

2.1. Актуальність та загальні відомості

Виробництво таблеток є однією з ключових ланок фармацевтичної промисловості. Таблетовані лікарські форми займають приблизно 40 % від загального обсягу готових лікарських засобів. Світовий ринок таблетованих препаратів демонструє стабільне щорічне зростання на рівні 10 - 15 %, і, за прогнозами ВООЗ, такі темпи збережуться в найближчі роки. Це обумовлює підвищені вимоги до ефективності технологічних процесів, точності дозування та стабільності якості продукції. [9]

Контроль якості таблеток здійснюється за багатьма параметрами, ключовими з яких є:

- рівномірність розподілення активної речовини;
- кількісне визначення діючих компонентів;
- вміст супровідних домішок;
- розчинність;
- твердість та міцність на стирання.

Кожен етап виробництва таблеток має критичне значення, але особливу увагу приділяють стадії пресування порошкової маси, оскільки саме від цієї операції залежить кінцева якість продукції.

2.2. Процеси таблетування та їх особливості

Для виробництва таблеток використовують кривошипні та ротаційні пресувальні машини. Ротаційні преси забезпечують поступове наростання тиску на порошкову масу, що гарантує рівномірне пресування і високу продуктивність.

Проте збільшення швидкості обертання ротора може призводити до дефектів, таких як:

- розшарування багатошарових таблеток;
- прилипання або відшарування верхньої/нижньої поверхні;

- нерівномірна маса та склад таблетки.

Висока швидкість обертання скорочує час наповнення матриці, що підвищує вимоги до плинності порошку. Для уникнення дефектів необхідно підбирати оптимальну швидкість ротора залежно від характеристик сировини.

2.3. Дозування та плинність матеріалу

Дозування таблеткової маси - це складний процес, результат якого залежить від цілої низки виробничих факторів. Щоб досягти високої точності, нам потрібно гарантувати стабільність: у матричне гніздо кожного разу, протягом усього часу роботи преса, має потрапляти суворо визначена, ідентична кількість матеріалу. Величезну роль відіграє швидкість процесів - наскільки швидко і, головне, безперешкодно порошок здатний заповнити форму за відведений для цієї операції відрізок часу. Велику роль у стабільності якості продукції відіграє якість самої сировини. Порошкова маса має бути ідеально однорідною, адже будь-які перепади густини чи нерівномірності складу призведуть до коливань ваги готової таблетки. [10]

Для нівелювання явищ утворення грудочок та оптимізації показників плинності сировинної маси в конструкції пресувального обладнання передбачено використання спеціалізованих механізмів. У роторних таблеткових машинах цю функцію виконує живильний вузол, принцип дії якого базується на комбінованому впливі вібрації та активних перемішуючих лопатей. Важливою складовою процесу є дозування кількості матеріалу, що надходить із живильника. У базовій конструкції преса, що є об'єктом дослідження, регулювання подачі реалізовано механічним шляхом. Зміна потоку порошку здійснюється за рахунок відкриття шторок на задану величину, що керується відповідним важільним механізмом.

Слід зазначити, що розглянутий механізм є технологічно складним у виробництві, а також вимагає трудомістких процедур налаштування та обслуговування. Головною проблемою залишається відсутність гарантованої

точності дозування компонентів, що є фактором збільшення браку у фармацевтичному виробництві. Це негативно позначається на якості лікарських засобів та несе потенційні ризики для пацієнтів. Отже, пріоритетним завданням є проведення модернізації механізму живлення роторного таблетпреса. Модифікація спрямована на збереження його високої продуктивності та нівелювання конструктивних недоліків. У представленій кваліфікаційній роботі буде запропоновано та розроблено технічне рішення, що дозволить оптимізувати роботу обладнання та забезпечити відповідність сучасним вимогам до точності технологічного процесу.

3. ПАРАМЕТРИ СИРОВИНИ ТА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Ефективна експлуатація роторних таблетпресів вимагає ретельної підготовки сировини, яка повинна володіти оптимальними технологічними властивостями. До визначальних характеристик, що впливають на процес таблетування, належить форма кристалічних частинок - найбільш сприятливою є ізодіаметрична структура. Важливою умовою є забезпечення достатньої сипучості грануляту (на рівні не менше 5–6 г/с) для безперебійного живлення зони пресування. Також суміш повинна мати високий коефіцієнт пресованості (не менше 0,4 - 0,5 г/мл) для формування міцної таблетки та проявляти мінімальну адгезійну активність стосовно металевих поверхонь прес-інструменту, що запобігає дефектам поверхні готових лікарських форм.

Серед номенклатури лікарських речовин лише незначна кількість порошків може бути використана в процесі таблетування без попередньої стадії грануляції. До таких матеріалів відносяться натрію хлорид, калію йодид, броміди та ацетилсаліцилова кислота. Ключовою особливістю цих субстанцій є ізодіаметрична форма кристалів та стабільний фракційний склад, що характеризується відсутністю значної кількості дрібних частинок. [11]

Найвищу ефективність процесу прямого пресування забезпечують матеріали, гранулометричний склад яких знаходиться в межах 0,5 - 1,0 мм, а пористість шару становить 37%, що гарантує необхідну щільність укладання в матриці. Представлена магістерська робота присвячена аналізу технології виробництва таблетованої форми аспірину. Технологічна схема базується на використанні ацетилсаліцилової кислоти (діюча речовина) у поєднанні з порошкоподібною целюлозою та кукурудзяним крохмалем у ролі допоміжних речовин, які забезпечують необхідну міцність таблетки.

Ацетилсаліцилова кислота є класичним представником групи нестероїдних протизапальних засобів. Спектр її фармакологічної активності поєднує виражені аналгетичні, жарознижувальні та протизапальні ефекти, що обумовлює широке клінічне застосування. [12]

Оснoву механізму дії препарату становить вплив на ферментну систему організму, а саме необоротна інактивація ізоформ циклооксигенази. Цей процес блокує метаболізм арахідонової кислоти, внаслідок чого ефективно гальмується біосинтез простагландинів - ключових медіаторів, відповідальних за розвиток запалення, больового синдрому та терморегуляцію.

Фармакологічна активність ацетилсаліцилової кислоти при пероральному введенні в дозах 0,3 - 1,0 г спрямована на реалізацію анальгетичного та жарознижувального ефектів. Це дозволяє ефективно застосовувати препарат для зниження температури тіла при підвищеній температурі, а також для полегшення запального болю в м'язах і суглобах. Окрім того, механізм дії включає інгібування циклооксигеназного шляху метаболізму арахідонової кислоти, що призводить до блокування утворення тромбоксану A₂ і, як наслідок, до пригнічення агрегаційних властивостей тромбоцитів.

З точки зору фармакокінетики, субстанція демонструє високу біодоступність при пероральному прийомі, швидко та повністю всмоктуючись зі шлунково-кишкового тракту. В результаті чого утворюється активний метаболіт - саліцилова кислота. Досягнення максимальної концентрації у плазмі крові різняться для вихідної речовини та її метаболіту: для незміненої ацетилсаліцилової кислоти цей показник становить 10 - 20 хвилин, тоді як для саліцилатів в межах від 20 хвилин до 2 годин.

Ацетилсаліцилова та саліцилова кислоти характеризуються високим ступенем спорідненості до білків плазми крові, з якими вони утворюють стійкі комплекси, та здатністю до швидкого розподілу в тканинах організму. Важливою особливістю саліцилової кислоти є її здатність долати плацентарний бар'єр та проникати в грудне молоко під час лактації. Процес біотрансформації саліцилової кислоти локалізується в гепатоцитах печінки.

В результаті метаболічних реакцій утворюється ряд похідних, основними з яких є саліцилсечова кислота, саліцилфенол глюкуронід, саліцилацил глюкуронід, а також гентизинова та гентизинсечова кислоти.

Процес виведення саліцилової кислоти прямо корелює з прийнятою дозою препарату. Обмежуючим фактором у цьому процесі виступає ферментативна активність печінки, яка вичерпується при високих концентраціях препарату.

Внаслідок цього спостерігається значне зростання періоду напіввиведення: від короткого інтервалу в 2 - 3 години при низькому дозуванні до 15 годин у випадку прийому високих доз. Виведення як самої саліцилової кислоти, так і її метаболітів відбувається головним чином із сечею завдяки видільній функції нирок. [13]

Виробництво лікарського засобу «Аспірин» (таблетки 300 мг). Процес стартує з підготовки сировини, де подрібнюють активний фармацевтичний інгредієнт - ацетилсаліцилову кислоту. Потім її просіюють. Після відважування необхідної кількості компонентів проводиться приготування гранулюючого розчину. Окремою ланкою є вхідний контроль та підготовка пакувальних матеріалів. [14]

Наступний етап включає отримання таблеткової маси шляхом вологого змішування та гранулювання з подальшим термічним сушінням гранул. Для покращення технологічних властивостей напівпродукту проводяться операції опудрювання та сухого гранулювання, що забезпечує необхідну сипучість та пресованість суміші. Готову суміш пресують у таблетки. Готову продукцію відправляють на контроль, а також знепилюють для видалення дрібнодисперсних фракцій. Завершується технологічний процес виготовлення фасуванням продукції в блістери або контейнери. [15] - [16]

4. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ, ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

4.1. Склад виробу та комплект поставки

Роторна таблеткова машина РТМ41М3 розроблена для автоматизованого виробництва таблеток шляхом пресування гранульованих матеріалів. Схема основних складальних одиниць: на станині (1) встановлено ротор (4), а процес формування забезпечують живильники (13), копіри (6) та ролики тиску (7). Для контролю робочих режимів передбачено пульт керування (8) та панель (9), а видалення пилу із зони пресування здійснюється вбудованим пиловідсосом (14). Крім стаціонарних вузлів, машина комплектується знімними частинами, необхідними для експлуатації: завантажувальним бункером, комплектом верхніх і нижніх пуансон-штоків, системою пиłosоса з рукавом, столиком, а також елементи кріплення М16 та віброопорами. [17]

Для оптимізації виробничого процесу в машині передбачено систему уловлювання та збору втрат таблетмаси, що утворюються під час операцій виготовлення й фасування. Технічне забезпечення поставки включає повний комплект ЗІП (змінні деталі, запчастини, інструментарій) згідно із затвердженою супровідною документацією. Разом з обладнанням замовнику передаються два комплекти прес-інструменту. Конфігурація та діаметр робочих поверхонь пуансонів і матриць підбираються індивідуально, базуючись на технічних вимогах замовника в межах виробничої номенклатури підприємства-виготовлювача.

4.2. Будова машини роторної РТМ41М3

Конструктивне виконання роторної таблеткової машини РТМ41М3 (див. рис. 4.1) включає збірну станину (1), яка з усіх боків екранована системою знімних кожухів (2). Фіксація кожухів здійснюється за допомогою замків (3), що дозволяє оперативно їх знімати для проведення регламентних робіт та обслуговування приводу. Органи керування машиною винесено на фронтальну

панель (9): тут розташовано пульти (8), який містить функціональні клавіші для керування режимами роботи електродвигуна та вмикання магнітів живильників.

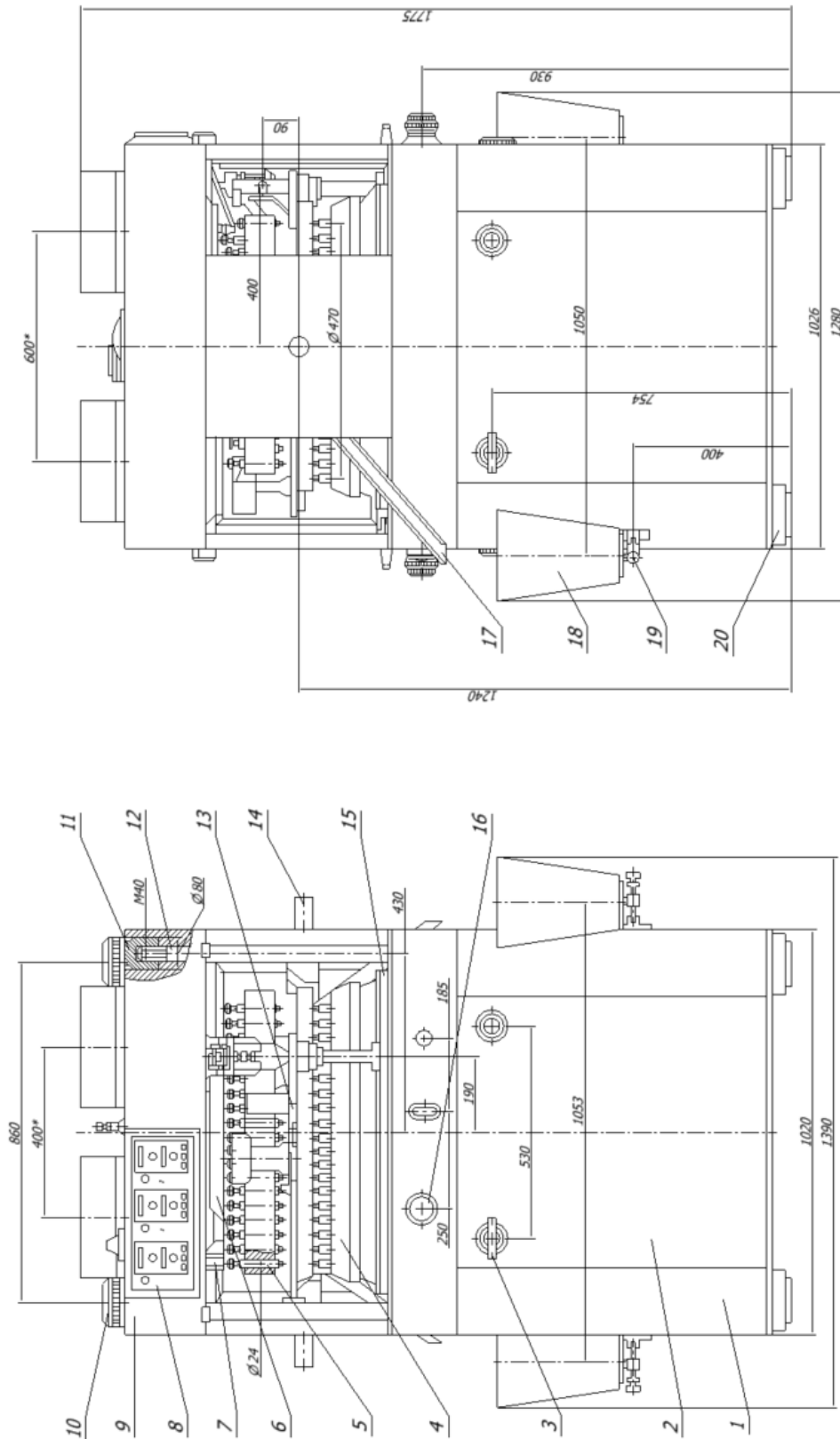


Рисунок - 4.1 Машина таблеткова роторна РТМ41М3

Функціонування преса базується на передачі обертального моменту від приводу до ротора (4). Це забезпечує цикли зворотно-поступального руху штоків (5), які взаємодіють із нерухомими копірами (6) та роликами тиску (7) для виконання операції пресування. Конструкція дозволяє оперативно коригувати силу стиснення шляхом обертання відповідного маховика (10). Важливий етап дозування сировини в матриці реалізовано за допомогою віброживильника (13), який забезпечує стабільну подачу матеріалу в зону пресування.

Жорсткість конструкції забезпечується надійним з'єднанням панелі (9) зі станиною (1), яке реалізовано за допомогою стяжок (12) та фіксуючих гайок (11). Для підтримання належного санітарного стану робочої зони використовується пиловідсос (14), що відводить дрібні частки до системи аспірації, а спеціальна огорожа (15) герметизує внутрішні вузли машини від запилення. Регулювання маси таблетки (дозування) здійснюється шляхом обертання маховика (16). Процес вивантаження готової продукції організовано наступним чином: таблетки, виведені на площину стола ротора, за допомогою відсікаючого ножа спрямовуються в лоток (17), звідки потрапляють у приймальну ємність (18), закріплену на кронштейні (19).

Для забезпечення стійкості та віброізоляції машина встановлюється на уніфіковані гумово-металеві опори серії ОВ-31 (20). Використання таких амортизуючих елементів забезпечує дисипацію вібраційних навантажень, що надає можливість експлуатації обладнання на міжповерхових перекриттях без заливки спеціального фундаменту.

Візуалізація етапів процесу таблетування реалізується за допомогою циклограми, суміщеної з лінійною розгорткою машини по колу центрів матричних гнізд. Оскільки конструкція РТМ41М3 передбачає двопотокову схему пресування, для повного розуміння фізики процесу достатньо проаналізувати роботу механізмів одного потоку, зважаючи на повну ідентичність та симетричність другого.

Технологічний цикл таблетування розпочинається із заповнення порожнини матриці (8) гранулятом, що подається через віброживильник (9). У цей момент нижній шток (11) із зафіксованим пуансоном (10) здійснює рух по низхідній траєкторії копіра (12), переходячи на горизонтальну ділянку в напрямку до дозуючого вузла (1). Подальше обертання ротора переміщує матрицю під дозуючий зворощувач (2), який видаляє надлишок маси, повертаючи його до з'єднувальної камери живильника. Остаточне формування дози забезпечує клиновий механізм (1), що піднімає шток із пуансоном на чітко визначену висоту, фіксуючи таким чином необхідний об'єм матеріалу в просторі між торцем нижнього пуансона та корпусом живильника.

Фаза вистою на етапі дозування є необхідною умовою для коректного функціонування відсікаючого ножа (3). Завдяки пружинному механізму, що забезпечує щільне притискання ножа до поверхні столу ротора (4), досягається прецизійне зрізання надлишку маси та формування точної дози. Процес наповнення матричних гнізд реалізується вібраційною секцією живильника та механічними зворощувачами. Конструкція живильника має збільшену протяжність зони завантаження, що є важливим фактором при експлуатації машини на знижених колових швидкостях. Така конструкція гарантує повне заповнення об'єму матриці. У випадку недостатнього наповнення у вібраційній зоні, остаточне дозування компенсується роботою дозуючого зворощувача.

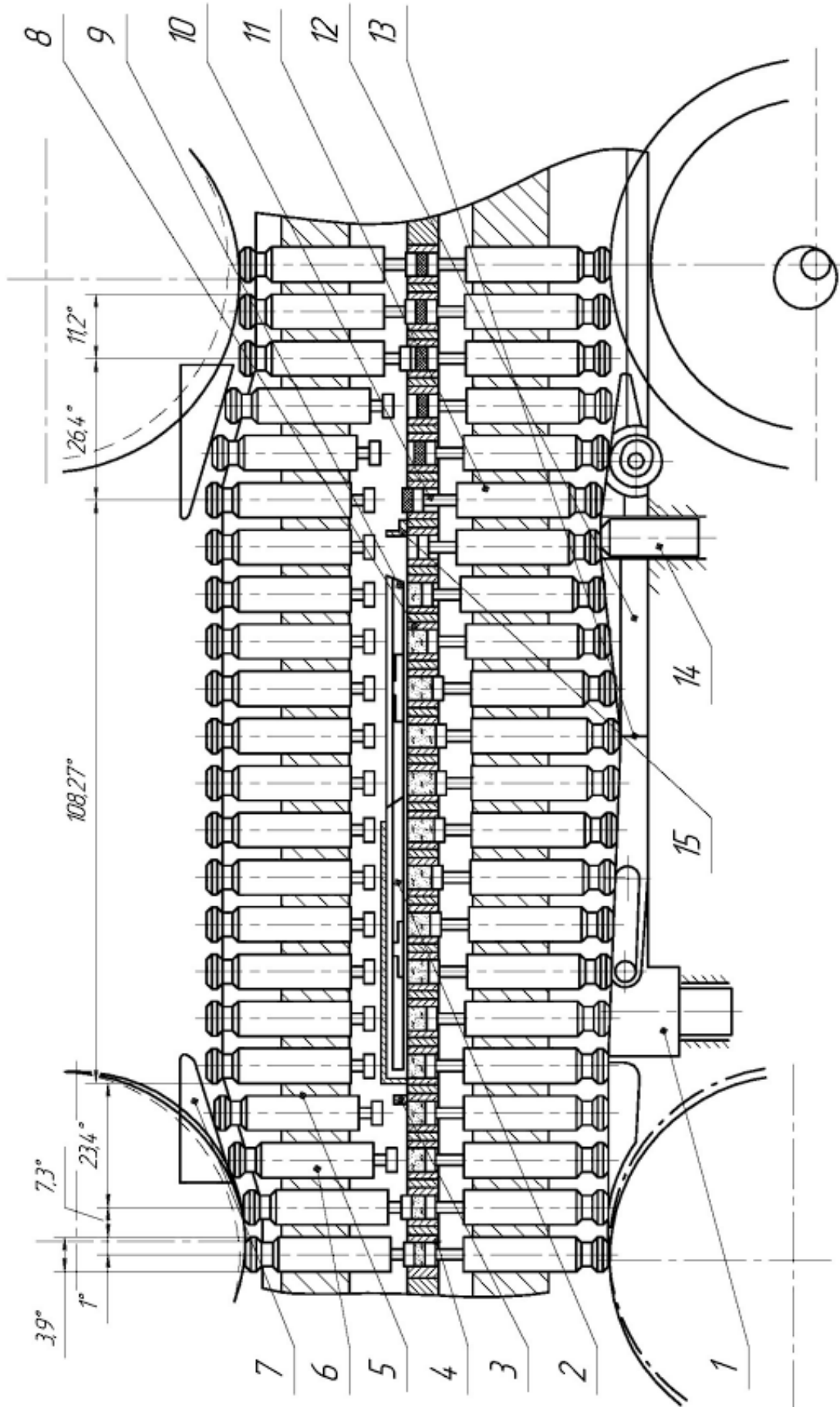


Рисунок 4.2 - Циклограма роторної таблеткової машини

240280.MP.05.000 ПЗ

Інд.змі.

Дата видання

Мова

Аркуш

UA

26

Синхронізована взаємодія механізму дозування та зворощувача сприяє попередньому ущільненню сипучого матеріалу безпосередньо в матриці. Такий ефект стабілізації щільності грануляту дозволяє суттєво підвищити точність маси готових таблеток та зменшити варіабельність дозування. Важливу технологічну функцію в цьому вузлі виконує відсікаючий ніж (3). Він не лише формує фіксовану дозу, зрізаючи надлишок маси, але й забезпечує рециркуляцію залишків, спрямовуючи їх по периметру ротора назад до зони живлення. Таке конструктивне рішення дозволяє замкнути цикл обігу сировини та мінімізувати безповоротні технологічні втрати матеріалів.

У процесі переміщення дозованого матеріалу верхні штоки (5) опускають пуансони (6), закриваючи матричний отвір. Під дією профілю копіра-відбійника (7) та відповідного нижнього копіра відбувається первинне ущільнення грануляту, яка передує фінальному пресуванню. Основний етап формоутворення здійснюється синхронною роботою роликів з амплітудою ходу 1–2 мм. Застосування схеми двостороннього пресування сприяє гомогенізації структури та рівномірності щільності таблетки у вертикальному перерізі. Важливою технологічною особливістю є забезпечення витримки під навантаженням завдяки плоскій геометрії головки штока, що безпосередньо впливає на механічну міцність готової продукції.

Конструктивне розміщення нижнього ролика передбачає його монтаж на ексцентриковій осі, що забезпечує кінематичний зв'язок із механізмом регулювання. Таке технічне рішення надає можливість змінювати глибину пресування адаптуючи процес до специфіки сировини. Система налаштування передбачає три фіксовані позиції, які визначають відстань від робочої поверхні столу ротора до зони пресування: нижня зона знаходиться на глибині 9 мм, середня — на рівні 6 мм, а верхня зона відповідає значенню 4 мм.

Налаштування положення зони пресування здійснюється на основі характеристик сировини, що забезпечує оптимальні умови формування структури таблетки. Це рішення також сприяє раціональному використанню оснастки, надаючи можливість двічі використовувати ресурс однієї матриці

шляхом зміщення зони зносу. Процес вивантаження продукції забезпечується синхронною роботою виштовхуючого механізму (14), що виводить таблетку на поверхню роторного столу, та напрямного ножа (15). Останній виконує функцію механічного відведення готових лікарських форм у приймальний лоток або контейнер.

4.2 Вібраційний живильник

Живильник є складною складальною одиницею, що включає п'ять ключових елементів: базову основу, привод зі зворощувачем, вібратор, вібраційну рамку та регулюючий пристрій. Унікальність даної системи полягає у конструктивному синтезі трьох різних механізмів подачі: активного лопатевого перемішування, вібраційного впливу та зони вільного досипання грануляту в матрицю. Специфіка кожного методу збережена, проте вони функціонують як єдиний механізм. Це досягається завдяки гідродинамічній оптимізації геометрії каналів: внутрішні об'єми та перерізи потоку спроектовані таким чином, щоб забезпечити безперешкодний та стабільний рух матеріалу між різними функціональними зонами живильника.

У схемі живлення преса РТМ41МЗ не передбачено буферних зон, тому матеріал транзитом проходить від бункера до вузла регулювання подачі. Робота системи реалізовано наступним чином: сировина з бункера (1) завантажується у приймальний стакан (2) та корпус (3), після чого спускається похилою площиною (4). Для запобігання зависанню продукту, окрім власної ваги, використовується механізм (5), що руйнує склепіння порошку. Його конструкція включає центральний шток (7) з інтегрованими хвилеводами (6). Кінематичний зв'язок забезпечується через різьбове з'єднання (8) та гайки (9), що підключають механізм до джерела коливань — вібропроводу (10), роль якого відіграє фронтальна панель віброживильника.

Механізм руйнування склепінь (5) доповнено п'ятьма хвилеводами (11), які жорстко закріплено перпендикулярно до центрального стрижня (7). Керування інтенсивності потоку матеріалу здійснюється через регулятор

подачі, де маховичок (12) обертає ходовий гвинт (13) у гайці (14), привареній до корпусу (3). Кінематична схема передбачає передачу руху від гвинта до важільної системи (15), яка безпосередньо керує положенням шторок (16). Шторки закріплено на осях (17), встановлених на основі (18), що з'єднана з підставкою (24).

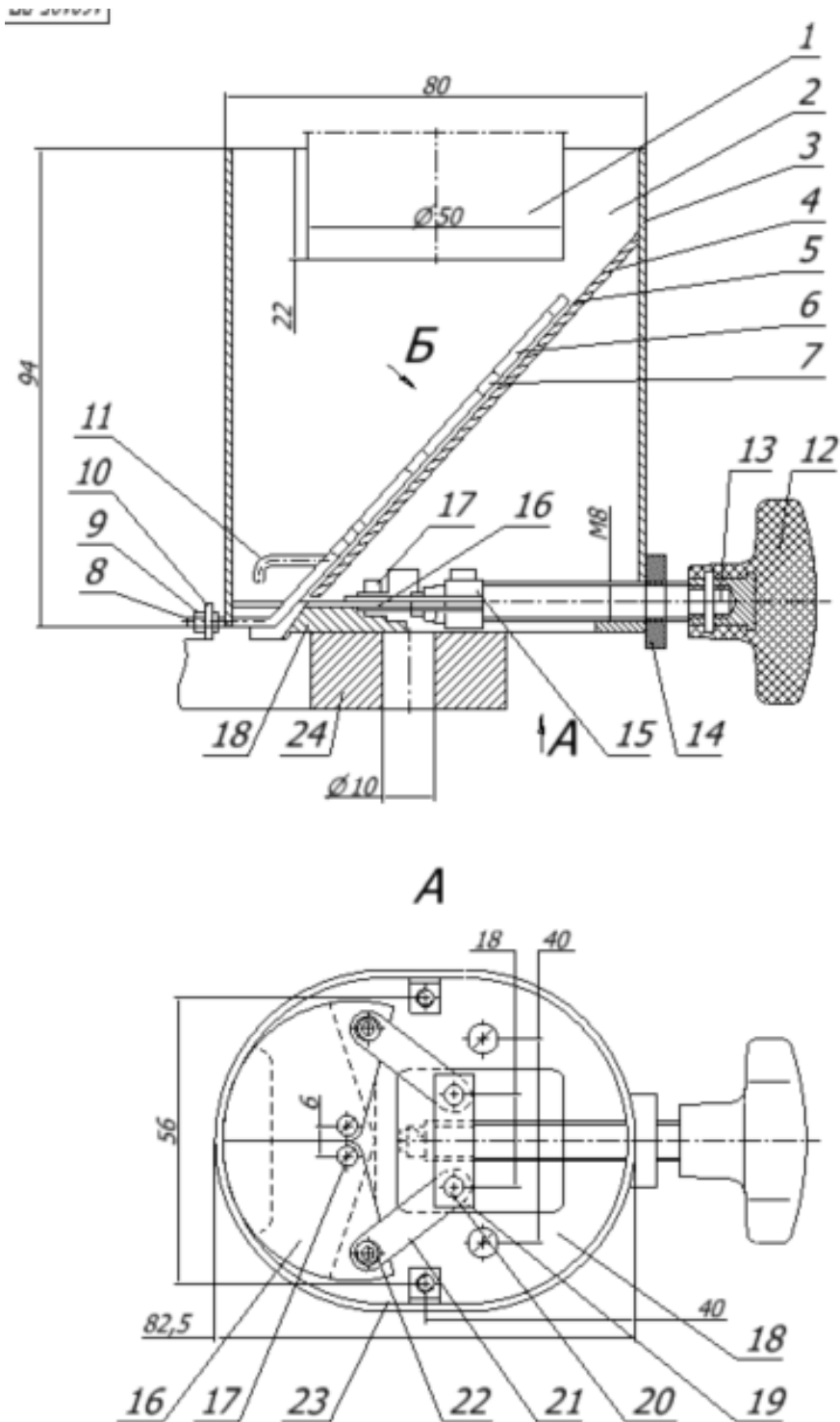


Рисунок 4.3 - Регулятор подачі порошку у живильник

Деталізація вузла (вид А) демонструє, що поступальний рух гвинта (13) через траверсу (19), систему осей (20) та сполучних пластин (21) трансформується у поворот шторок через шарніри (22). Монтаж корпусу (3) до основи (18) виконано за допомогою трьох фіксуючих кутників (23).

На рисунку 4.4 (вид «Б» відповідно до рис. 4.3) деталізовано конструктивне виконання механізму руйнування грудок у сировині (5), який має характерну геометричну конфігурацію типу «ялинка». Алгоритм роботи регулятора подачі порошку реалізується за наступною схемою: сипкий матеріал із бункера під дією гравітації надходить через вихідний патрубок (1) у приймальний стакан (2). Далі маса заповнює внутрішній об'єм корпусу (3), переміщуючись по похилій стінці (4) до нижньої зони, обмеженої площиною шторок (16). Важливою особливістю є те, що це «технологічне дно» не перекриває вихід повністю — залишається зазор, що відповідає діаметру центрального стрижня (7) механізму розпушування. Точне просторове позиціонування регулятора відносно живильника по вертикальній та горизонтальній осях забезпечується монтажною основою (18) та підставкою (24).

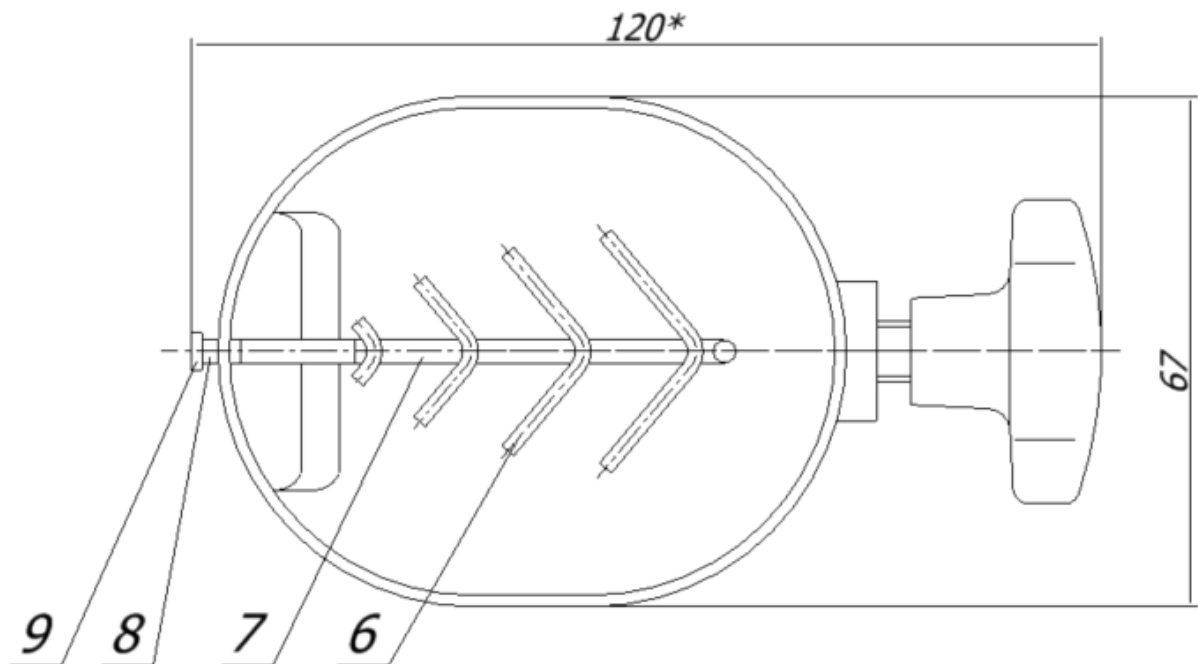


Рисунок 4.4 - Механізм руйнування склепінь

Робота вузла розпочинається з активації вібропривода, який генерує коливання механізму руйнування склепінь зі стандартною промисловою частотою. Для забезпечення ламінарності та рівномірності потоку матеріалу обов'язковим є етап попереднього віброструшування тривалістю 12 - 20 секунд. Кінематика відкриття випускного отвору базується на обертанні маховичка (12) і гвинта (13), що викликає зміщення траверси (19). Цей рух через проміжні ланки - осі (20) і пластини (21) - передається на шарніри (22), змушуючи шторки (16) повертатися навколо осей (17). Продуктивність подачі сировини в живильник є регульованим параметром, що залежить від ступеня розкриття шторок та встановленої амплітуди вібраційного впливу.

Завдяки широкому діапазону регулювання робочих параметрів система гарантує стабільне та безперервну подачу порошкових мас, включно з матеріалами, що характеризуються низькою сипучістю. На плані загального вигляду (рис. 4.5) простежується траєкторія руху сировини: гранулят первинно надходить у приймальну камеру (15). Подальше транспортування до робочої зони - вібраційної рамки (10) - забезпечується комбінованою дією хвилеводів (9 і 11) та кінематикою обертання ротора (8). У межах рамки генеруються механічні коливання, які передаються від стінок безпосередньо до грануляту, що сприяє його розпушуванню та інтенсивному, щільному заповненню матричних гнізд (7).

Ефективність заповнення матриць (7) регулюється інтенсивністю вібраційного впливу: для матеріалів із погіршеною сипучістю амплітуду коливань рамки (10) слід збільшувати. У процесі роботи лопаті зворощувача (21) видаляють надлишок грануляту, спрямовуючи його у відкриту зону (6), що локалізована між стінкою рамки (18) та корпусом (19). Ця зона відіграє критичну роль технологічного компенсатора в системі живлення. Вона виконує подвійну функцію: по-перше, приймає зворотний потік порошку, який викидається зворощувачем і не може бути прийнятий переповненою вібраційною рамкою, а по-друге - слугує резервуаром для фінального

досипання матриць, що залишилися незаповненими до кінця після проходження вібраційної зони.

Моніторинг стану зони 6 дозволяє оператору здійснювати візуальний контроль за стабільністю режимів роботи. Неприпустимим є пересипання порошку за межі корпусу живильника: надмірна акумуляція маси вимагає негайного зменшення інтенсивності подачі, тоді як її дефіцит у цій зоні свідчить про необхідність збільшення вхідного потоку сировини. Додатковий контур зовнішнього контролю реалізовано через спеціальну кишеню (3), виготовлену з прозорого оргскла. Рівень заповнення цього елемента є індикатором балансу системи і не повинен перевищувати $2/3$ загального об'єму; переповнення кишені слугує сигналом для оператора про необхідність обмеження надходження грануляту за допомогою регулятора.

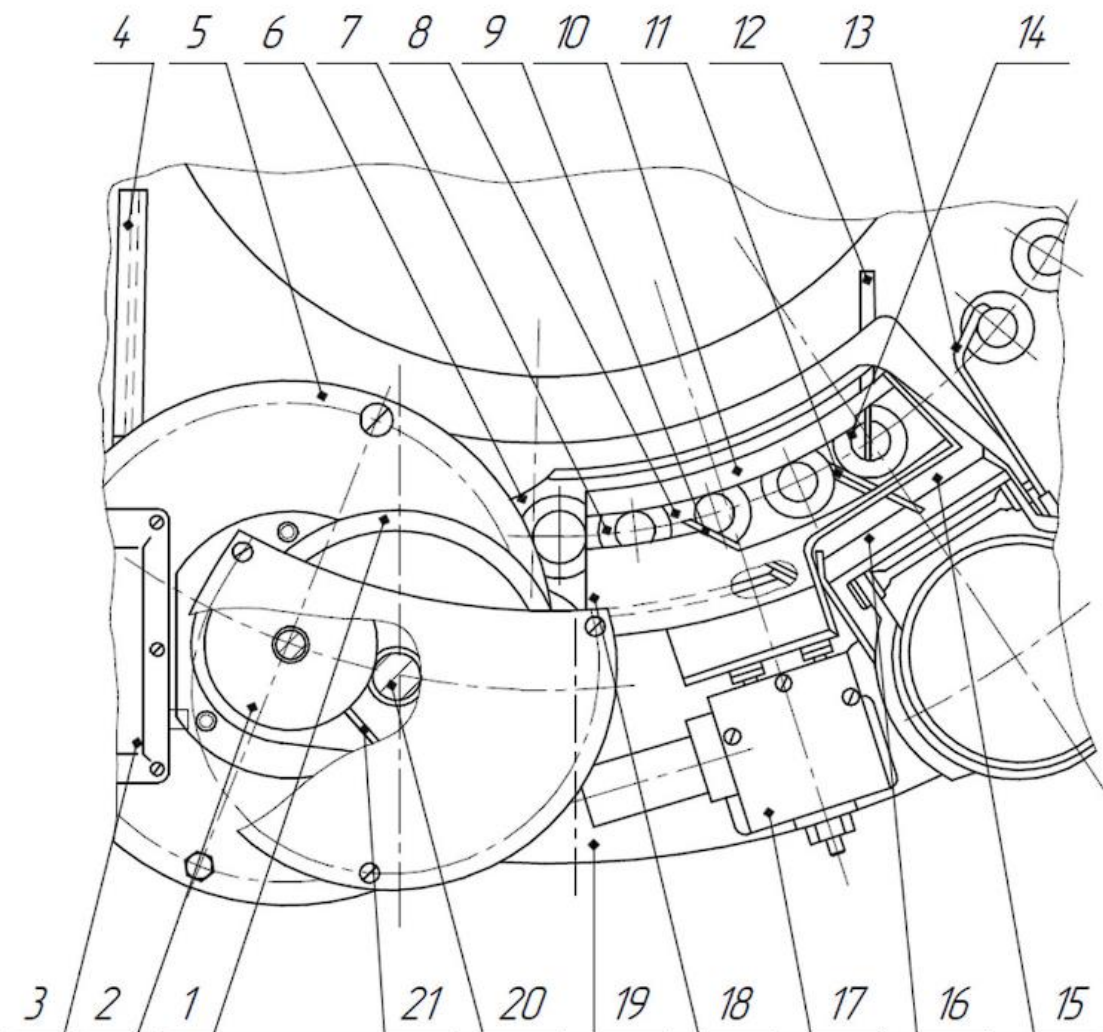


Рисунок 4.5 - Загальний вид вібраційного живильника

Кінематична схема приводу зворощувача дозуючої камери реалізована шляхом відбору потужності від штовхачів ротора. Передача обертального моменту на вал зворощувача здійснюється через систему зірочок (1) та зубчасту пару шестерень (2). Конструкція вузла передбачає організацію замкненого циклу обігу сировини: надлишок грануляту виводиться через калібровану щілину під дією ножа (4), транспортується по периметру ротора і за допомогою ножа (12) повертається назад у вібраційну рамку (10). Окремий функціональний елемент — ніж (13) — відповідає за фінальну стадію процесу, забезпечуючи механічне скидання готових таблеток у приймальну тару преса.

Налаштування вібраційної рамки (7) вимагає дотримання параметрів: конструктивний зазор над дзеркалом стола лімітується величиною 0,1 мм, при цьому рамка має бути чітко центрована відносно технологічної осі Е-Е. Саме вихід рамки за межі висоти 0,1 мм над поверхнею ротора найчастіше діагностується за ознакою надмірного переповнення робочої камери дозуючого зворощувача. Паралельно з цим необхідно забезпечити постійний моніторинг радіального люфту в зоні сполучення бурта стола ротора (8) з основою (15), утримуючи його значення в інтервалі 0,2 -0,3 мм.

В ролі силового агрегату вібропривода живильника в конструкції машини РТМ41М3 використано електромагніт серії ЕМ34-21221-2043 (ступінь захисту IP20 згідно з ТУ16-667.202-83). З метою адаптації вузла до умов фармацевтичного виробництва та забезпечення вимог вибухобезпеки, штатний корпус пристрою замінено на спеціалізований герметичний кожух (1), представлений на рис. 4.6, що гарантує необхідний рівень пилезахищеності. Механічна передача коливальних рухів до віброживильника реалізується через систему жорсткого зчеплення, де сполучними елементами виступають штирі (2), фіксовані безпосередньо на якорі (3) електромагніту.

Згідно з електричною схемою машини забезпечується одночасне вмикання живлення електропривода та вібровузла. У робочому режимі якор (3) під впливом електромагнітних сил втягується в нерухому котушку, змонтовану в корпусі (1), здійснюючи механічний вплив на гумовий амортизатор в гайці

(5). Для забезпечення коректної роботи вібратора необхідне точне калібрування робочого ходу. Це досягається встановленням регламентованого зазору між якорем та тілом котушки за допомогою регулювального гвинта (6) з контргайкою (7). Гранично допустиме значення даного параметру становить 0,5 мм.

Наявність технологічного зазору дозволяє здійснювати прецизійне регулювання амплітуди коливань у діапазоні 0,04 - 0,5 мм. Між величиною зазору та інтенсивністю вібрації існує пряма залежність, тому налаштування здійснюється виходячи з характеристик сипучості сировини. Для матеріалів із поганою сипучістю необхідно встановлювати більшу амплітуду. Забезпечення кінематичної стабільності та унеможливлення механічних заїдань або перекосів відбувається переміщенням якоря вздовж спеціальних напрямних (8), жорстко змонтованих у корпусі. Зворотний хід рухомої системи у вихідне положення при зміні напрямку струму реалізується за рахунок пружних властивостей гумового амортизатора.

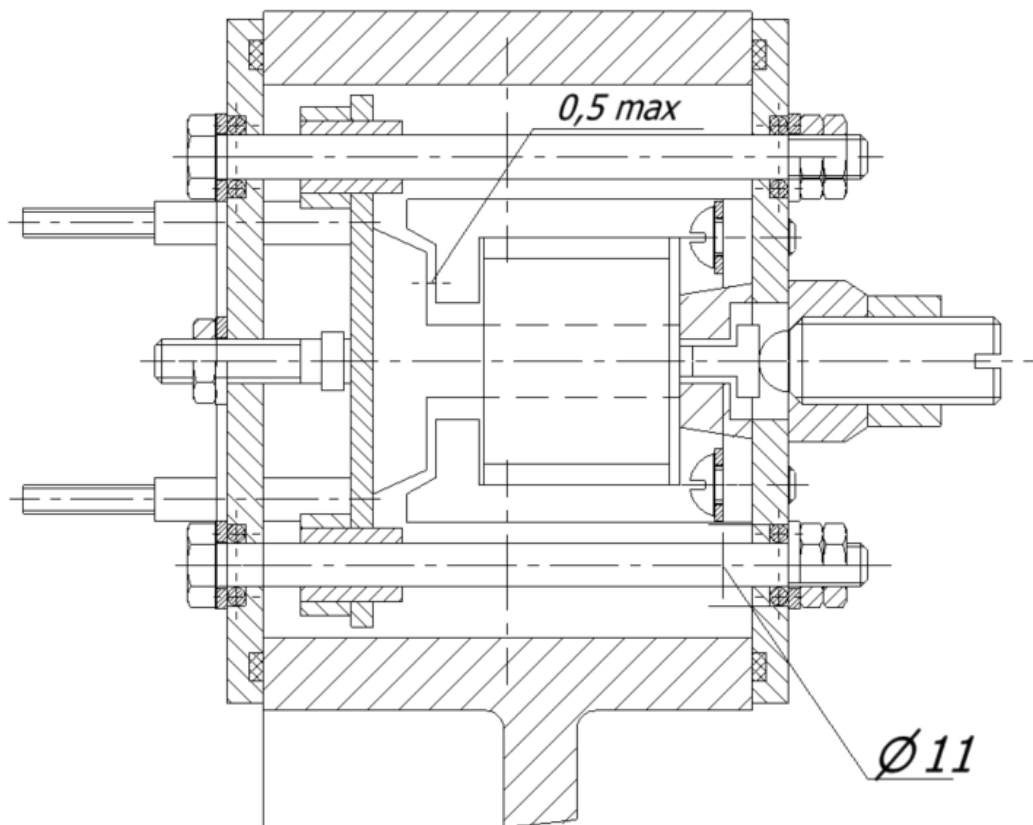


Рисунок 4.6 - Вібропривод до живильника

З метою компенсації змін амплітуди коливань викликаних тривалою експлуатацією вібропривод оснащено механізмом корекції, що включає упор (9) з амортизатором і контргайкою (10). Технологічний регламент відновлення робочих характеристик полягає у послідовному виконанні операцій: після відпускання гвинта (6) необхідно за допомогою упору (9) повністю вибрати зазор до моменту контакту якоря з котушкою (4). Далі формується необхідний початковий робочий хід шляхом зворотного повороту упору (9) на 1/4 оберту, а фінальна фіксація та регулювання заданої амплітуди реалізується гвинтом (6).

У штатному режимі роботи частота вібраційного впливу досягає показника 3000 Гц. Електрична схема керування машиною передбачає можливість точного регулювання цього параметра за допомогою інтегрованого змінного резистора. Наступною ланкою технологічного процесу є механізм виштовхування (див. рис. 4.7), функція якого полягає у виведенні спресованої таблетки з матричного каналу на площину стола ротора. Ця операція є визначальною як для забезпечення цілісності готової лікарської форми, так і для збереження ресурсу прес-інструменту. Оскільки зусилля виштовхування може становити 8–12% і більше від сили основного пресування, цей вузол зазнає значних механічних навантажень, що робить копії виштовхування та головки штоків найбільш вразливими до експлуатаційного зносу елементами конструкції.

Конструкція преса передбачає використання вдосконаленого механізму виштовхування роликів виконання. Таке технічне рішення спрямоване на зниження механічного зносу шляхом заміни тертя ковзання на тертя кочення. Це забезпечується рухом штока по ролику відриву на базі голчастих підшипників. Функціонування системи виштовхування є продовженням стадії пресування, яке відбувається в матриці (6) внаслідок стиснення матеріалу між робочими торцями нижніх (5) і верхніх (8) пуансонів. Силовий імпульс для цієї операції генерується в момент транзиту ротора (9) між нижнім (10) та верхнім роликами.

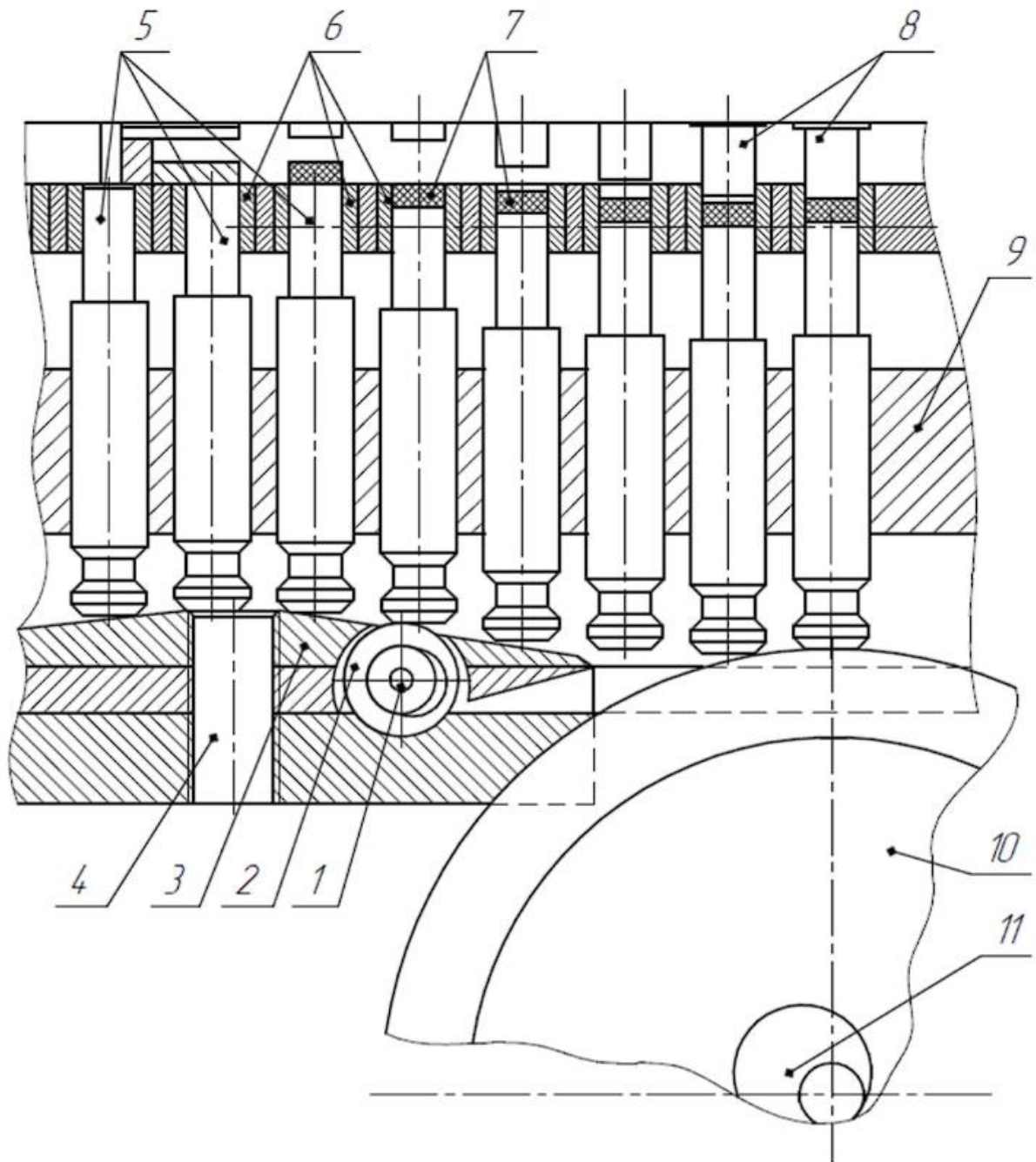


Рисунок 4.7 - Механізм виштовхування

Після проходження зони максимального тиску, на ділянці, що відповідає осі Б-Б, відбувається процес зняття осьового тиску з таблетки (7). Кінематика інструменту в цей момент змінює напрям руху. Верхній шток (8) розпочинає рух вгору, звільняючи робочий простір, тоді як нижній шток продовжує горизонтальне переміщення до моменту контакту з роликом відриву (2). Цей ролик виконує функцію первинного зрушення таблетки, а його положення по вертикалі регулюється за допомогою ексцентрикової осі (1). Налаштування

здійснюється таким чином, щоб висота підйому ролика (2) перевищувала рівень ролика тиску (10) у діапазоні 0,5 - 2,5 мм, що забезпечує ефективний початок виштовхування.

Визначення оптимальної величини перевищення ролика залежить від товщини таблетки, пікових значень зусилля пресування та стану внутрішньої поверхні матриці. У виробничій практиці емпіричним стандартом вважається налаштування ролика підриву (5) з перевищенням на 1 мм відносно рівня ролика пресування, чого зазвичай достатньо для подолання сил адгезії та зриву таблетки. Подальша кінематика передбачає повне виведення виробу на дзеркало стола ротора за допомогою системи, що включає копір (6) та регульований виштовхувач (7). Важливою умовою налаштування є синхронізація: при зміні вертикального положення ролика тиску (2) необхідно відповідно коригувати і позицію ролика підриву (5), при цьому ексцентриковий вал повинен бути орієнтований з нахилом у напрямку руху штоків.

Таблиця 4.1

Характеристики РТМ41М3

Продуктивність машини, тисяч таблеток на годину	
мінімальна	88,5
максимальна	240
Діаметр таблеток, мм	4 – 16, 20
Граничні відхилення діаметрів таблеток, мм	4, 5, 6, 7 ±0,1
	8, 9, 10, 11, 12 ±0,2
	13, 14 ±0,3
	15, 16, 20 ±0,4
Споживана потужність, кВт	≤ 4,8
Маса машини, кг	≤ 2000
Безповоротні втрати таблетмаси, %	≤ 0,6
Зусилля пресування максимальне, кН	100

Зміна частоти обертання ротора і зворощувача	безступінчасте
Середній термін служби до списання, років	≥ 6
Габаритні розміри, мм	
довжина	$1026 \pm 1,3$
ширина	$1020 \pm 1,3$
висота з бункером	$1775 \pm 1,85$
Відхилення маси від середнього значення маси у виборці з 10 таблеток	
при масі таблетки $\leq 0,12$ г	$\pm 10\%$
при масі таблетки $0,12 \leq x \leq 0,3$ г	$\pm 7,5\%$
при масі таблетки $\geq 0,3$ г	$\pm 5\%$
Напруга трьохфазної мережі змінного струму, частотою 50 Гц, В	$380 \pm 5\%$

4.3 Принцип дії машини РТМ41МЗ

Кінематична схема приводу машини (див. рис. 4.8) бере початок від електродвигуна (1), на валу якого встановлено ведучий вузол варіатора (2) з розсувними дисками. Передача крутного моменту до веденого шківів варіатора (4), розташованого на вхідному валу редуктора, здійснюється за допомогою спеціального клинового паса (3). Редуктор оснащений парою конічних шестерень (13 та 14), що мають криволінійну геометрію зубців. З вихідного валу редуктора рух транслюється через косозубу зубчасту передачу (11 і 12) безпосередньо на ротор (9), обертання якого забезпечує переміщення штоків із пуансонами відносно нерухомих копирів.

Реалізація повного технологічного циклу таблетування забезпечується взаємодією копирів із системою роликів тиску. Кінематика приводу передбачає відбір потужності від валу конічної шестерні до шестеренчастого насоса (15), який за допомогою кронштейна змонтовано безпосередньо в картері редуктора головного приводу. Критично важливим вузлом безпеки та налаштування процесу є стабілізатор тиску. Його пружина (8) за допомогою регулювальної

гайки (7) калібрується на номінальне зусилля пресування. У випадку виникнення пікових навантажень механізм виконує захисну функцію: пружина стискається, миттєво скидаючи надлишковий тиск, що унеможливорює аварійне пошкодження дороговартісного прес-інструменту.

Конструкція машини передбачає ряд елементів для налаштування робочих параметрів. Зокрема, регулювання частоти обертання ротора в діапазоні від 18 до 49 об/хв здійснюється шляхом зміни натягу варіаторного пасу. Ця операція виконується ключем (6), який керує позиціонуванням розсувних дисків варіатора, розташованого на валу редуктора. Для проведення налагоджувальних робіт, таких як ручний проворот ротора або заміна прес-інструменту, в кінематичній схемі передбачено маховик (5), що дозволяє оператору здійснювати маніпуляції в ручному режимі.

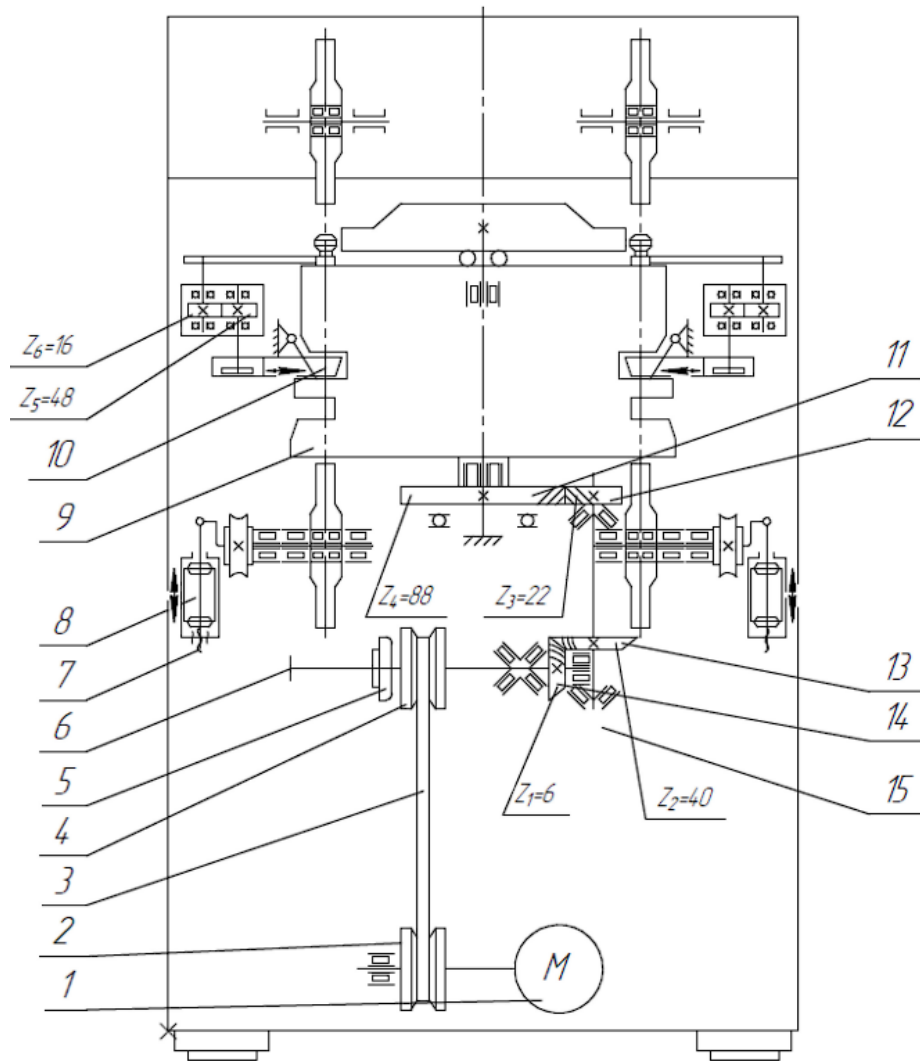


Рисунок 4.8 - Кінематична схема машини роторної

4.4 Опис пропозиції з модернізації

Конструктивне виконання таблетпреса передбачає необхідність стабільної роботи з матеріалами різної сипучості та схильності до грудкування. Ключовим вузлом подачі сировини є вібраційний живильник. Вузол оснащений лопатями для розподілення порошку, а регулювання потоку сировини здійснюється шторками через важільну систему.

Істотним конструктивним недоліком машини РТМ41МЗ є складність механізму живлення, зокрема приймального стакану, що містить надмірну кількість елементів (шторки, тяги, траверсу, гвинт з маховиком). Така багатокомпонентна важільна система ускладнює технологічні процеси виготовлення, складання та монтажу, а також регулювання подачі маси в живильник. У магістерському проєкті запропоновано модернізацію, спрямовану на спрощення конструкції приймального стакану.

На рисунках 4.9 - 4.11 зображений загальний вид механізму живлення роторної таблеткової машини. На рисунку 4.10 вид зверху при максимальній подачі матеріалу, який таблетується, на рисунку 4.11 вид зверху при закритій подачі матеріалу.

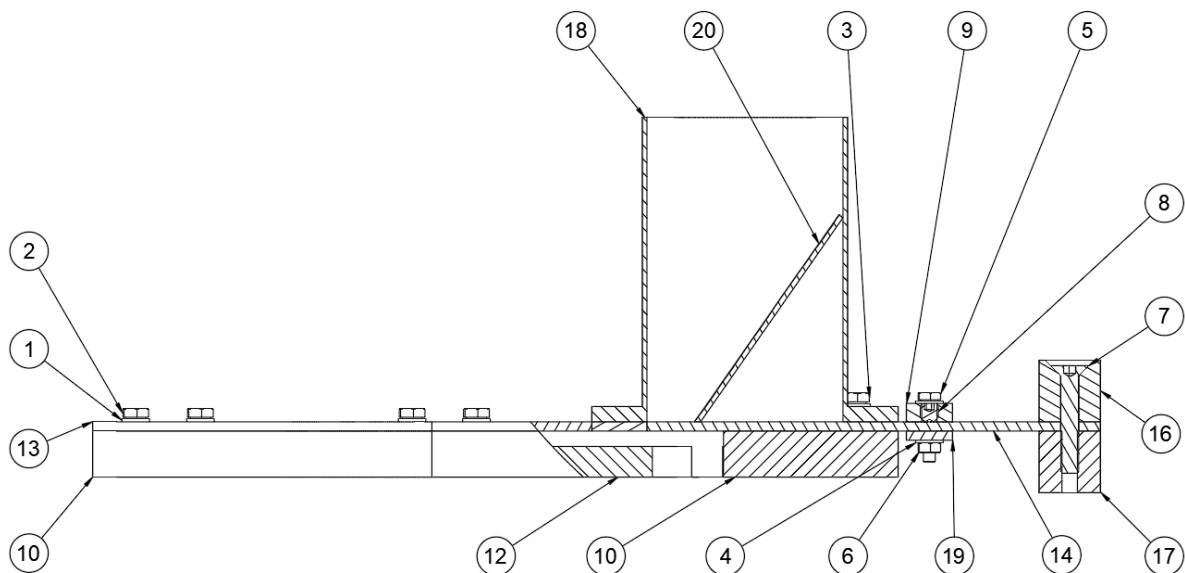


Рисунок 4.9 - Механізм живлення вид збоку

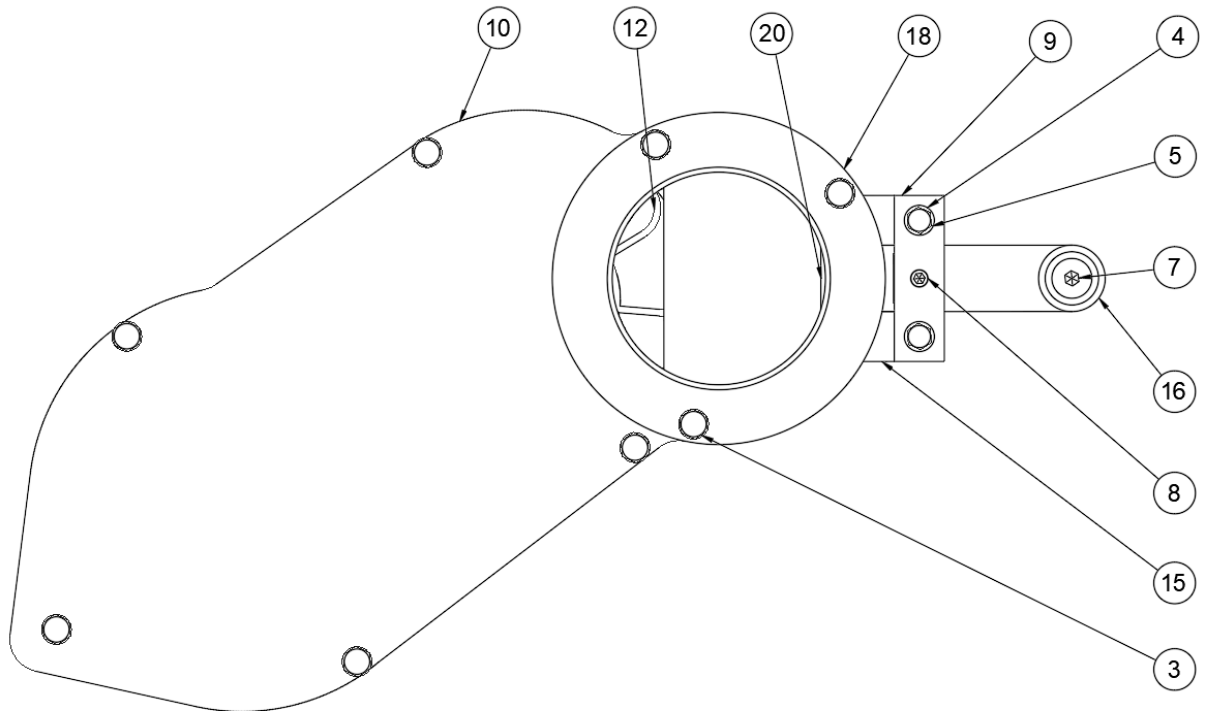


Рисунок 4.10 - Механізм живлення повністю відкритий

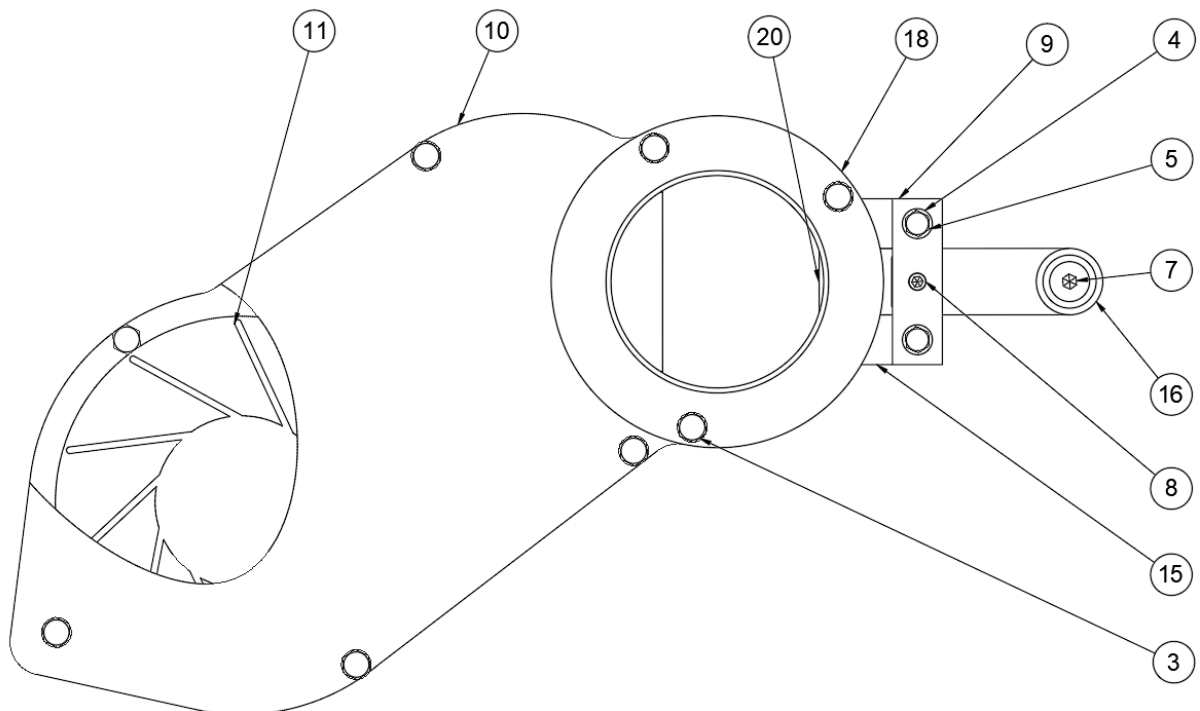


Рисунок 4.11 - Механізм живлення повністю закритий

Механізм живлення роторної таблеточної машини містить приймальний стакан 18 з похилою щодо вертикалі стінкою 20. Корпус 10, внутрішній простір якого утворено сполученими камерами під зворощувачі 11 і 12. До корпусу 10

за допомогою болтів 2 та шайб 1 прикручено кришку 13. Приймальний стакан 18 прикручено до корпусу 10 за допомогою шайб 1 та болтів 3. Пластина 15 розташована під приймальним стаканом 18 та слугує опорою для планок 9 та 19.

У місці розташування приймального стакана 18 виконано вікно, яке сполучається з вікном, виконаним в донній частині приймального стакана 18.

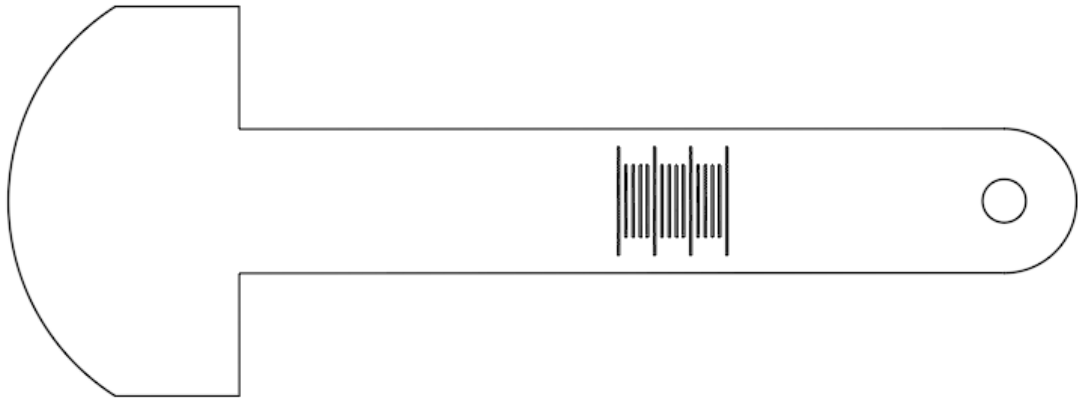


Рисунок 4.12 - Заслінка

Заслінка 14, яка перекриває це вікно виконана з можливістю руху вздовж своєї осі. На заслінці 14 розташовано бобишки 16 та 17, які стягуються болтом 7. Разом вони утворюють ручку, для зручного позиціонування заслінки 14. Планки 9 та 19, що стягуються за допомогою шайб 4, болтів 5 та гайок 6 утворюють зажим для заслінки 14. У планці 9 по центру зроблено різьбовий отвір для гужона 8. Гужон 8 фіксує заслінку 14 від переміщення вздовж осі. Це дозволить уникнути самовільного переміщення заслінки 14 під впливом вібрацій, які створює вібраційний живильник. Також задля полегшення позиціонування заслінки 14 на неї нанесено шкалу з ціною поділки 1мм.

Щоб забезпечити таблетування сировини різної сипкості відбувається регулювання розмірів вікна на дні приймального стакана 18 шляхом лінійного переміщення заслінки 14 керуючись нанесеною на неї шкалою. Після отримання оптимальної швидкості подачі порошку у механізм заслінка

фіксується гужоном 8. Внаслідок цих дій отримуємо збільшення або зменшення площі прохідного вікна між стаканом 18 та корпусом 10.

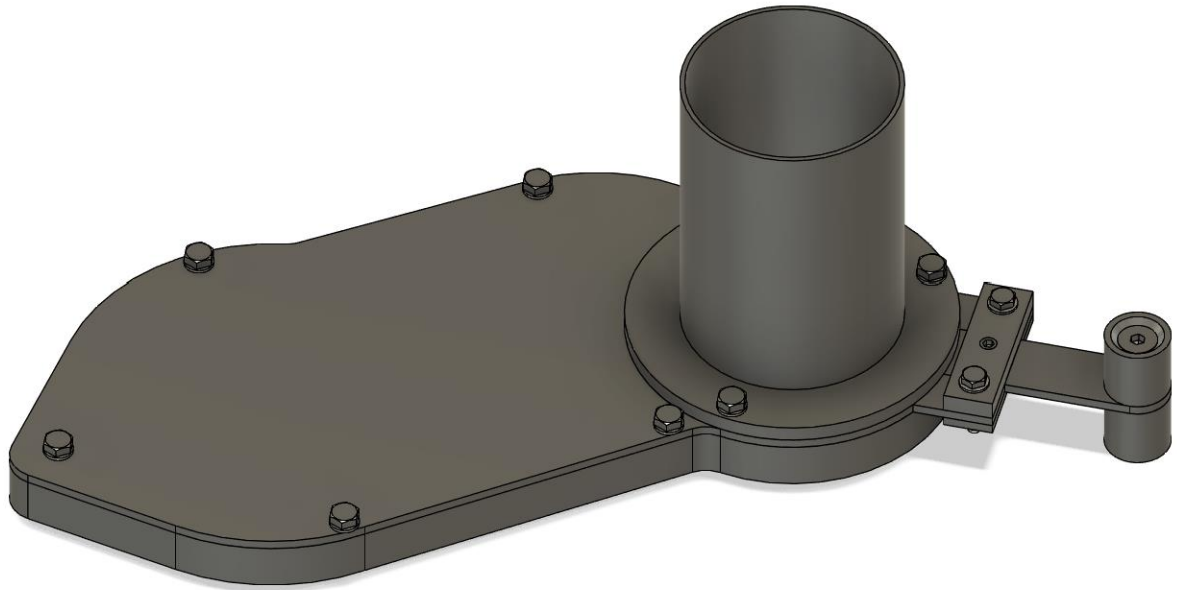


Рисунок 4.13 - Модель покращеного механізму

Запропонований механізм забезпечує суттєву оптимізацію регулювання швидкості потоку порошку, підвищуючи точність та ергономіку процесу.

Шкала нанесена на заслінку 14 слугує безпосереднім візуальним індикатором прохідного перерізу вікна. Гужон забезпечує чітку та надійну фіксацію заслінки 14. Але при необхідності дозволяє швидко та просто змінювати налаштування. Конструктивна спрощеність підвищує надійність вузла та виключає необхідність допоміжних налаштувальних операцій. Завдяки незмінному положенню похилої площини усувається ефект гальмування потоку порошку, що забезпечує безперешкодний рух сировини у механізмі.

5. РОЗРАХУНКИ

5.1. Технологічні розрахунки роторної таблетувальної машини РТМ41МЗ

Будь який перетворюючий та приймально-передавальний рух механізму являється кінематичним ланцюгом, що включає в себе кінематичні пари та ланки. Ланками називаються тверді тіла, з яких складається механізм. До них відносяться втулки, підшипники, шестерні, ремені та ін.

Визначимо продуктивність таблетувальної машини на один виріб через час робочого циклу T_p . Вона на пряму залежить від тривалості кінематичного циклу T та числа прес-інструментів m .

$$T_p = \frac{T}{m}$$

Кінематичний цикл складається з часу, витраченого на робочі етапи (пресування, виштовхування, скидання, дозування), та часу на холості рухи. Враховуються лише ті холості переміщення, що не виконуються одночасно з іншими операціями:

$$T = t_{\text{пр}} + t_{\text{виш}} + t_{\text{скид}} + t_{\text{доз}} + \sum t_{\text{хол}}$$

Максимальна продуктивність машини досягається при мінімальному значенні часу кінематичного циклу T . Визначення параметрів машини зводиться до знаходження радіуса ротора R , числа інструментів m і кратності роботи прес-інструменту p за один повний оберт. Додатково визначаються області проходження таблетування за кутом обертання ротору. Розраховуються профілі копирів і радіуси стискаючих роликів. Застосовуються графічний або розрахунковий методи. При графічному підході будується розгортка ротора за допустимими кутами тиску. Це дозволяє розмістити необхідні пристрої. Обмеження зони пресування - максимум дві пари інструментів одночасно. Радіус ротора розраховується виходячи з довжини отриманої розгортки l :

$$R = \frac{l}{2\pi}$$

де l - довжина кола, яке утворює ротор.

$$R = \frac{1,476}{2 * 3,14} = 0,235 \text{ м}$$

Вихідними даними для проектування пуансонів і матриць є тиск пресування та діаметр d . Наступним етапом обирається тип повзунів - з головками або роликами. Приймаємо їх розташування у корпусі ротора та розраховується крок матриць. Конструкція повзунів значно простіша в машинах, де використовуються нерухомі пресуючі ролики.

$$S_0 = (1,5 \div 3,5)d$$

де d - найбільший можливий розмір таблетки.

$$S_0 = 1,8 * 0,02 = 0,036 \text{ м}$$

Розрахуємо число прес-інструментів:

$$m = \frac{2 * \pi * R}{S_0} = \frac{2 * 3,14 * 0,235}{0,036} = 41,02 \approx 41$$

Знайдемо кутову швидкість ротора машини:

$$\omega_1 = \frac{v}{R}$$

де v - лінійна швидкість ротора, м/с.

$$\omega_1 = \frac{1}{0,235} = 4,257 \text{ с}^{-1}$$

Кінематичний розрахунок машини проводиться для обраної кутової швидкості з контролем найбільшої швидкості виштовхування таблетки і часу дозування. Для опуклої ділянки копіра радіус спряження обчислюється шляхом додавання радіуса ролика до радіуса спряження розгортки копіра.

$$r_p = (0,6 \div 0,8)r_{III}$$

Радіус ролика визначають конструктивно. Беручи до уваги теоретичні нормативи щодо радіусів кривизни пари «кулачок-ролик», отримуємо:

$$r_{III} = (1,25 \div 1,67)r_p$$

радіус вигину копіра на опуклій частині:

$$r_{III} = 1,25 * 0,14 = 0,175 \text{ м}$$

де r_p - радіус ролика тиску. В машині РТМ41М3 $r_p = 0,14 \text{ м}$.

$$r_{III} = 1,25 * 0,14 = 0,175 \text{ м}$$

Рух нижнього пуансона під час процесу пресування поділяється на ділянки *I, II, III*:

$$S_{np} = S_I + S_{II} + S_{III},$$

і час операції

$$t_{np} = t_I + t_{II} + t_{III}$$

Вертикальний рух на відрізку *I*:

$$S_I = r_p \cdot (1 - \cos \gamma_{II})$$

де γ_{II} - кут тиску на прямолінійному відрізку руху копіра.

$$S_I = 0,14 * (1 - \cos 24^\circ) = 0,0121 \text{ м}$$

Переміщення на відрізку *III* визначається за такою ж формулою:

$$S_{III} = r_{III} * (1 - \cos \gamma_{III}) = 0,175 * (1 - \cos 45^\circ) = 0,051 \text{ м}$$

Вертикальне рух на відрізку *II*:

$$S_{II} = S_{np} - S_I - S_{III} = 0,12 - 0,0121 - 0,051 = 0,0569 \text{ м}$$

Для роторного обладнання з фіксованими осями роликів за умови симетричної кінематики пуансонів час пресування розраховується за формулою:

$$t_{np} = \frac{2 * S_{np}}{v_{np}} * \frac{\left(\cos^2 \frac{\gamma_{II}}{2}\right)}{\cos \gamma} = \frac{2 * 0,12}{2,69} * \frac{\cos^2 \frac{24^\circ}{2}}{\cos 9^\circ} = 0,092 \text{ с}$$

Значення допустимого кута тиску слугує основою для розрахунку радіуса кривизни теоретичного профілю:

$$r = \frac{S_{np}}{2 * \sin^2 \frac{\gamma}{2}} = \frac{0,12}{2 * \sin^2 \frac{9^\circ}{2}} = 0,615 \text{ м}$$

Профіль копіра виштовхування в ротаційних машинах формується прямолінійною ділянкою, що спрягається дугами з горизонтальними відрізками. Внаслідок незначних силових навантажень на етапі виштовхування допускаються вищі значення кута тиску та вертикальної швидкості пуансона порівняно з процесом пресування. Швидкість виштовхування становить:

$$v_{\text{виш}} = \frac{v_{np}}{\text{tg}\gamma'} = \frac{2,69}{\text{tg}40^\circ} = 3,21 \text{ м/с}$$

Розрахунок радіусів спряження теоретичного профілю копіра виконується згідно з описаними вище методами. Наступним етапом визначаємо час виштовхування за формулою:

$$t_{\text{виш}} = \frac{r_I + r_{III}}{v_{\text{виш}}} \left(\frac{S_{\text{виш}}}{r_I + r_{III}} - 2 \sin^2 \frac{\gamma'}{2} + \sec \gamma' \right) =$$

$$= \frac{0,14 + 0,175}{3,21} \left(\frac{0,0121}{0,14 + 0,175} - 2 \sin^2 \frac{40^\circ}{2} + \sec 40^\circ \right) = 0,064 \text{ с}$$

При визначенні часу скидання приймається допущення про сталість колової швидкості переміщення таблетки від матриці до периферії ротора. Виходячи з цього, розрахунок часу скидання здійснюємо за такою формулою:

$$t_{\text{скид}} = \frac{2\Delta R}{v_{\text{кол}} \cdot \sin 2\beta_0} = \frac{2 \cdot 0,14}{1 \cdot \sin(2 \cdot 10^\circ)} = 0,028 \text{ с}$$

Визначення часу дозування базується на експериментальних даних та аналізі роботи існуючого обладнання. Збільшення цього інтервалу сприяє зменшенню відхилень у вазі таблеток, проте призводить до зростання загальної тривалості кінематичного циклу.

$$t_{\text{доз}} = 0,418 \text{ с}$$

До структури часу вистою та холостих ходів входять:

1. вистій пуансонів після пресування (витримка під тиском) - визначається технологічними вимогами;
2. вистій нижніх пуансонів після виштовхування;
3. позиціювання нижніх пуансонів для дозування;
4. додаткове опускання нижніх пуансонів на величину А перед входом верхнього пуансона;
5. вертикальне переміщення верхніх пуансонів вгору відбувається після фази стиснення таблетки. Кінцева точка підйому визначається габаритами живильного пристрою, який повинен вільно розміщуватися під пуансонами на ділянці дозування;

6. Замикання матриці забезпечується шляхом опускання верхніх пуансонів.

Параметри вертикального руху пуансонів напряду залежать від заданих характеристик таблетки.

Параметри для ділянок холостих переміщень наступні: кути тиску на копірах становлять 10 - 15°, а швидкість вертикального руху пуансонів - 0,06 - 0,07 м/с.

Загальний час циклу T :

$$T = 0,092 + 0,064 + 0,028 + 0,418 + 0,097 = 0,699 \text{ с}$$

Кут повороту ротора, що відповідає виконанню операції таблетування:

$$\alpha_i = \frac{t_i}{T} \cdot 180^\circ$$

$$\alpha_{np} = \frac{0,092}{0,744} \cdot 180^\circ = 22,4^\circ$$

$$\alpha_{виш} = \frac{0,064}{0,744} \cdot 180^\circ = 15,48^\circ$$

$$\alpha_{скид} = \frac{0,028}{0,744} \cdot 180^\circ = 7^\circ$$

$$\alpha_{доз} = \frac{0,418}{0,744} \cdot 180^\circ = 98,27^\circ$$

$$\alpha_{доп} = \frac{0,097}{0,744} \cdot 180^\circ = 23,4^\circ$$

5.2 Розрахунок продуктивності

Необхідно встановити, чи здатна дана роторна машина забезпечити випуск заданого обсягу продукції. Якщо потужності недостатньо, виконується розрахунок кількості машин для виконання виробничого плану.

Вихідні дані:

- річний план підприємства - 1010,2 млн. таблеток на рік;
- кількість робочих діб, $n = 232$;
- кількість робочих годин за добу, $t = 18$ год;
- кількість змін - 2;

- кількість робочих годин за зміну - 9 год;
- відсоток браку становить 5%.

Визначаємо кількість таблеток, яка буде виготовлена на машині РТМ41М3 за рік.

Частота обертання ротора становить $v = 40,65$ об/хв.

Кількість прес-інструментів $m = 41$.

Продуктивність машини за годину (тис. табл./год.) залежить від швидкості обертання ротора, кількості потоків та кількості прес-інструментів:

$$Q_{\Gamma} = 60 * v * m * z$$

де Q_{Γ} - продуктивність машини, шт./год.; v - частота обертання ротора; m - кількість прес-інструменту; z - кількість потоків.

$$Q_{\Gamma} = 60 * 80 * 40,65 * 2 = 200\ 000 \text{ табл./год.}$$

Продуктивність машини за рік:

$$Q_p = 0,75 * n * t * Q_{\Gamma}$$

де Q_p - продуктивність машини за рік; n - кількість робочих днів за рік; t - кількість робочих годин за день.

$$Q_p = 0,75 * 232 * 18 * 200,0 = 626\ 400 \text{ тис. табл./рік.}$$

Масова продуктивність машини :

$$Q_M = Q_{\Gamma} * b * \frac{1}{1000}$$

де Q_M - масова продуктивність; b - маса таблетки, г.

$$Q_M = 200\ 000 * 0,3 * \frac{1}{1000} = 60 \text{ кг/год}$$

Об'ємна продуктивність машини :

$$Q_{об} = 7,85 * 10^{-4} * H * d^2 * Q_{\Gamma}$$

де Q_{Γ} - продуктивність машини; H - висота заповнення матриці, мм; d - діаметр матриці, мм.

$$Q_{об} = 7,85 * 10^{-4} * 17 * 7^2 * 200\ 000 = 130\ 781 \text{ мм}^3 / \text{год}$$

Враховуючи кількість браку, що становить 5%, маємо продуктивність:

$$Q = Q_p - Q_p * 0,05 = 626\ 400 - 626\ 400 * 0,05 = 595\ 080 \text{ тис. табл./рік}$$

З розрахунків бачимо про неможливість виконання заводського плану одним таблетпресом. Його річна продуктивність при заданих параметрах є недостатньою. Для забезпечення планових показників необхідно встановити дві одиниці обладнання.

5.3. Конструктивні розрахунки

5.3.1. Дозування прес-порошків при таблетуванні

Операція дозування забезпечує заповнення матриці заданою масою прес-порошку для формування таблетки регламентованої ваги. Технологічно розрізняють ваговий та об'ємний методи. Хоча ваговий метод забезпечує вищу точність, через конструктивну складність вузлів та тривалість циклу зважування в промислових машинах переважно застосовується об'ємне дозування.

Відхилення ваги (різновага) залежить від стабільності дозування. В ексцентриковому та ротаційному обладнанні порошок подається в матрицю із завантажувального пристрою 1 самопливом. Конструкція передбачає використання матриці 2, верхнього 3 та нижнього пуансонів 4 (рис.5.1). Дозування за об'ємом досягається регулюванням висоти нижнього пуансона, тоді як верхній пуансон піднімається для безперешкодної роботи живильника.

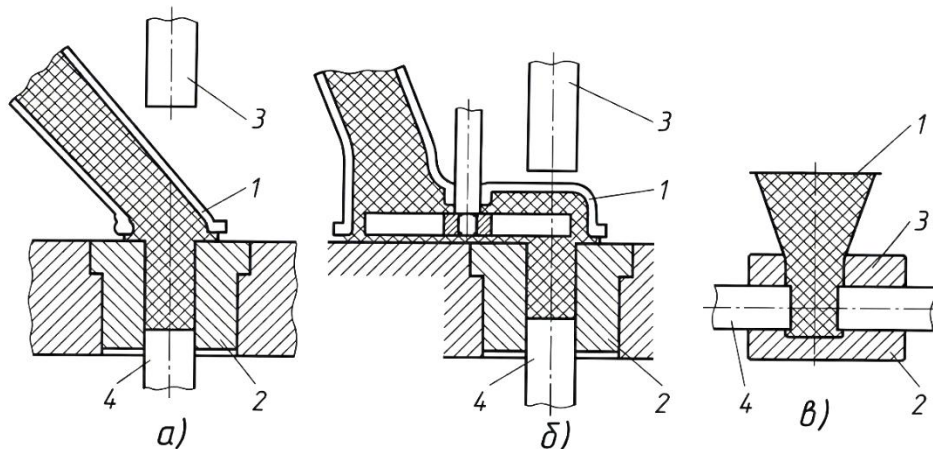


Рисунок 5.1 - Дозуючі пристрої роторних таблетуючих машин:
а - ексцентрикової; б - ротаційної; в - гідравлічної.

Тривалість операції дозування є незначною відносно повного циклу таблетування. Часові витрати залежать від маси речовини, її гранулометричного складу, діаметра матриці та фізико-механічних властивостей порошку.

Встановлено відсутність залежності між висотою рівня порошку та пропускною спроможністю бункера.

Висипання матеріалу крізь отвір у дні відбувається за механізмом «динамічного розвантаження склепіння»: частки покидають склепіння над отвором під дією сил тяжіння, змінюючись новими. Гравітаційна природа процесу пояснює сталість швидкості витікання незалежно від висоти стовпа сировини.

Розрахунок продуктивності воронки Q базується на моделі сферичного склепіння над отвором d . У перерізі, що проходить через вісь, утворюється коло з таким рівнянням:

$$y = \frac{d}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{4x^2}{d^2}}$$

Швидкість часточки v , яка випадає зі склепіння в точці A у момент проходження через отвір, буде рівна:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot y}$$

де g - прискорення сили тяжіння, а об'ємна витрата через елементарне кільце площею $dF = 2\pi x dx$

$$dW = v dF = 2\pi x dx \sqrt{2 \cdot g \cdot y}$$

$$dW = 2\pi x \sqrt{g} \cdot \sqrt{\frac{2d}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{4x^2}{d^2}}} dx$$

Отже,

$$dW = 2\pi x \sqrt{g} \cdot \sqrt{d^2 - 4x^2} \cdot dx$$

Нехай $d^2 - 4x^2 = u$, тоді $du = -8x dx$, звідки

$$x = -\frac{du}{8dx}$$

$$dW = -\frac{2\pi \cdot du}{8dx} \cdot \sqrt{g} \cdot u^{1/4} dx$$

$$dW = -\frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{g} \cdot u^{1/4} du,$$

Отже,

$$W = \frac{\pi\sqrt{g}}{5} \cdot d^{2,5}$$

де W - об'ємна витрата; d - діаметр отвору у дозаторі, м.

$$W = \frac{3,14 \cdot \sqrt{9,81}}{5} \cdot 0,05^{2,5} = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Визначення пропускної спроможності воронки з урахуванням вихідних умов та заданої насипної ваги порошку:

$$Q = \mu \cdot \gamma_{\text{нас}} \cdot W$$

де μ - коефіцієнт витрати; $\gamma_{\text{нас}}$ - насипна вага порошку.

$$Q = 0,55 \cdot 1390 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 0,84 \text{ кг/с}$$

Відхилення у вазі таблеток при обробці однієї партії матеріалу на фіксованих налаштуваннях обумовлені нерівномірним розподілом частинок порошку за розміром.

При заповненні матриці прес-порошком відбувається витіснення повітря, що може призвести до утворення повітряних пробок. Для мінімізації вмісту повітря в таблетках застосовується спеціальний алгоритм: нижній пуансон починає рух вниз лише після позиціювання живильника над матрицею. Така кінематика створює ефект вакуумного всмоктування порошку в порожнину матриці.

З метою прискорення процесу дозування в конструкції бункерів передбачені зворушувачі або підтрушувачі. Визначення параметрів часу дозування та висоти заповнення матриці здійснюється за допомогою наступних формул:

$$t = \frac{G}{Q}$$

$$H = H_{\text{матр}}$$

де t - час дозування; G - вага таблетки; Q - пропускна спроможність; H - висота заповнення матриці прес-порошком; $H_{\text{матр}}$ - висота матриці.

$$t = \frac{0,3 * 10^{-3}}{0,84} = 0,35 * 10^{-3}$$

$$H = 0,017 \text{ м}$$

При заданій середній щільності ρ пресованої таблетки висота останньої h може бути знайдена з рівності:

$$G = \frac{\pi \cdot d^2}{4} * H_M * \rho_{\text{нас}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} * h * \rho * g$$

Звідки

$$h_p = \frac{H * \rho_{\text{нас}}}{\rho * g}$$

де h - висота таблетки; ρ - питома щільність таблетки; H - висота заповнення матриці прес-порошком;

$$h_p = \frac{0,017 * 1390}{800 * 9,81} = 3,01 * 10^{-3} \text{ м}$$

Геометричні параметри готового виробу відрізняються від теоретичних через пружне відновлення та нерівномірну щільність. Це зумовлює збільшення об'єму після виходу з матриці. Необхідна глибина заповнення встановлюється шляхом регулювання машини.

5.3.2. Розміри таблеток і визначення зусиль, що діють на робочі органи

У випадках, коли співвідношення діаметра та висоти не впливає на подальшу експлуатацію, габарити таблетки підбираються з огляду на оптимізацію роботи преса. Для машин на стадії проектування пріоритетом є мінімізація ваги виробу.

Розрахунок притискного зусилля для формування таблетки розмірами d та h вимагає визначення тиску на верхньому пуансоні.

Використовується наступна залежність:

$$G = \frac{\pi d^2}{4} * h * \gamma$$

де γ – питома вага таблетки,

знаходимо що

$$\gamma = \frac{4 * G}{\pi * d^2 * h} = \frac{4 * 0,3 * 10^{-3}}{3,14 * 0,007^2 * 0,004} \approx 1950 \text{ кг/м}^3$$

З графіка залежності тиску від питомої ваги таблетки вибираємо тиск на верхньому пуансоні, що дорівнює $q_v \approx 800 \text{ кгс/см}^2 \approx 78,45 \text{ МН/м}^2$

Процес двостороннього пресування характеризується рівністю швидкостей переміщення верхнього та нижнього пуансонів. Це забезпечує створення ідентичного тиску на обидві поверхні таблетки.

$$P_v = P_n$$

У системі «прес-форма - матеріал» сила тертя є внутрішньою, тому її вплив на зусилля нижнього пуансона не враховується. За таких умов навантаження, що створюється машиною на верхньому пуансоні, дорівнює навантаженню на нижньому.

Умови двостороннього пресування дозволяють розглядати таблетку як розділену умовною нейтральною площиною. Кінематика процесу в цьому шарі характеризується нерухомістю частинок відносно корпусу матриці.

Під час пресування зернистих матеріалів на стінки матриці діє бічний тиск, вектор якого перпендикулярний до напрямку зусилля пресування. Відношення цього тиску до основного тиску пресування називають коефіцієнтом бічного тиску.

$$\xi = \frac{q_{bz}}{q_z}$$

де q_{bz} – бічний тиск в точці z ;

q_z – тиск пресування в точці z .

$\xi=0,4$

Звідси $q_b = \xi \cdot q$

Отже, бічний тиск пресування:

$$q_b = 0,4 \cdot 78,45 = 31,38 \text{ МН/м}^2$$

Мінімальне значення питомого тиску пресування спостерігається в нейтральному шарі, що проходить через середину висоти таблетки. Виходячи з цього, тиск на верхньому пуансоні становить:

$$q_b = q'_H + 2 \frac{h}{d} * f * q_b$$

де q'_H - тиск в нейтральному шарі, h - висота таблетки, d - діаметр таблетки ($d=7 \text{ мм}$), f - середнє значення коефіцієнта тертя.

Замінюємо $f \cdot q_b$ на T :

$$q'_H = q_b - 2 \cdot \frac{h}{d} \cdot \tau_T$$

Приймаємо $T=250 \text{ кг/см}^2=24,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$

$$q'_H = 800 - 2 \cdot \frac{0,4}{0,7} \cdot 250 = 514,3 \text{ кгс/см}^2 = 50,43 \text{ МН/м}^2$$

Зусилля пресування на верхньому пуансоні:

$$P_b = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot q_b$$

$$P_b = \frac{3,14 \cdot 0,007^2}{4} \cdot 78,45 \cdot 10^6 = 3019,1 \text{ Н} = 3,02 \text{ кН}$$

$$P_b = P_H = 3,02 \text{ кН}$$

Перевіряємо розміри таблеток, які будемо отримувати на машини:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P_b}{\pi \cdot q_b}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3019,1}{3,14 \cdot 78,45 \cdot 10^6}} = 0,007 \text{ м}$$

$$h = \frac{q_b}{2 \cdot \tau_T} \cdot \sqrt{\frac{P_b}{3 \cdot \pi \cdot q_b}} = \frac{78,45 \cdot 10^6}{2 \cdot 24,5 \cdot 10^6} \cdot \sqrt{\frac{3019,1}{3 \cdot 3,14 \cdot 78,45 \cdot 10^6}} = 0,0032 \text{ м}$$

Обране зусилля пресування задовольняє вимоги експлуатації моделі РТМ41М3 та забезпечує випуск продукції належної якості.

Зусилля, необхідне для операції виштовхування, визначається наступним чином:

240280.MP.05.000 ПЗ

Інд.змі.

Дата видання

Мова

Аркуш

UA

55

$$P_{\text{виш}} = \pi \cdot d \cdot h \cdot \tau = 3,14 \cdot 0,007 \cdot 0,0032 \cdot 24,5 \cdot 10^6 = 1723 \text{ Н} = 1,7 \text{ кН}$$

5.4. Кінематичні розрахунки

У конструкції ротаційних машин обертання ротора забезпечує відносний рух верхніх і нижніх повзунів.

Колова швидкість визначається за формулою:

$$v_1 = \omega_1 * R$$

де ω_1 - кутова швидкість обертання ротора; R - радіус ротора по колу матриць.

$$v_1 = 4,257 * 0,235 = 1 \text{ м/с}$$

Прискорення повзуна у відносному русі:

$$a_1 = \omega_1^2 * R = 4,257^2 * 0,235 = 4,259 \text{ м/с}^2$$

Паралельність векторів переносної кутової та відносної лінійної швидкостей обумовлює нульове значення коріолісового прискорення, тому:

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + v_{21}^2}$$

$$a_2 = \sqrt{a_1^2 + a_{21}^2}$$

Кут тиску на ділянці I (рис.5.2.) є змінною величиною, але може бути розрахований за формулою:

$$\gamma = \arcsin \frac{R_a}{r}$$

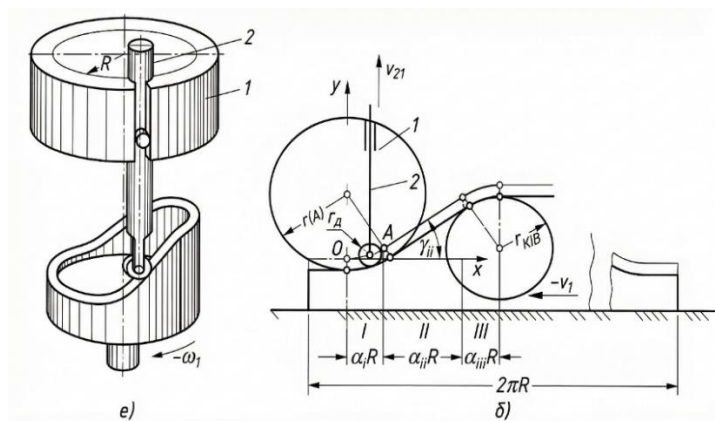


Рисунок 5.2 - Кінематична схема кулачкового механізму

Швидкість і прискорення штовхача в будь-якій точці ділянки I можуть бути виражені через кут тиску γ :

$$v_{21} = \omega_1 * R * \operatorname{tg} \gamma$$

$$a_{21} = \omega_1^2 * \frac{R^2}{r * \gamma}$$

де γ – кут тиску; r – радіус ролика тиску.

$$v_{21} = 4,257 * 0,235 * \operatorname{tg} 8,3^\circ = 0,146 \text{ м/с}$$

$$a_{21} = 4,257^2 * \frac{0,235^2}{0,14 * 8,3^\circ} = 7,4 \text{ м/с}^2$$

В точці дотику ділянок I і II пряма, що відповідає теоретичному профілю кулачка на ділянці II , за умовою плавності переходу є дотичною до кола, тому:

$$\sin \gamma_A = \sin \gamma_{II} = \frac{R * a_I}{r}$$

Отже,

$$a_I = \frac{r}{R} * \sin \gamma_{II}$$

де γ_{II} - кут тиску на II ділянці.

$$a_1 = \frac{0,14 * \sin 22,4^\circ}{0,235} = 0,227$$

Відносна швидкість при переміщенні повзуна в роторі на початку ділянки I ($a=0$)

$$(v_{21})_0 = 0$$

Швидкість в кінці ділянки I ($a = a_1$)

$$(v_{21})_A = \omega_1 * R * \operatorname{tg} \gamma_A = 4,257 * 0,235 * \operatorname{tg} 22,4^\circ = 0,412 \cong 0,4 \text{ м/с}$$

де $\operatorname{tg} \gamma_A = \operatorname{tg} \gamma_{II}$

Відносне прискорення при вертикальному переміщенні пуансона на початку ділянки I :

$$(a_{21})_0 = \omega_1^2 * \frac{R^2}{r} = 4,257^2 * \frac{0,235^2}{0,14} = 7,14 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Прискорення в кінці ділянки I :

$$(a_{21})_A = \omega_1^2 * \frac{R^2}{r * \gamma_{II}} = 4,257^2 * \frac{0,235^2}{0,14 * 22,4^\circ} = 9,05 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Швидкість відносного руху штовхача на ділянці II постійна і пропорційна швидкості в точці дотику:

$$v_{21} = \omega_1 * R * \operatorname{tg}\gamma_{II} = 4,257 * 0,235 * \operatorname{tg}22,4^\circ \cong 0,412 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Прискорення на ділянці II дорівнює нулю, тому, в точці дотику А присутній м'який удар. Перевіримо правильність розрахунку за допомогою рівності:

$$\frac{(a_{21})_A}{(a_{21})_0} \leq 1,54 \Rightarrow \frac{9,05}{7,14} = 1,27 \leq 1,54$$

Процес пресування в таблетувальних машинах реалізується шляхом взаємодії роликів із головками повзунів під час обертання ротора. Ролики набігають на інструмент, створюючи необхідне зусилля.

5.5 Розрахунок потужності приводу

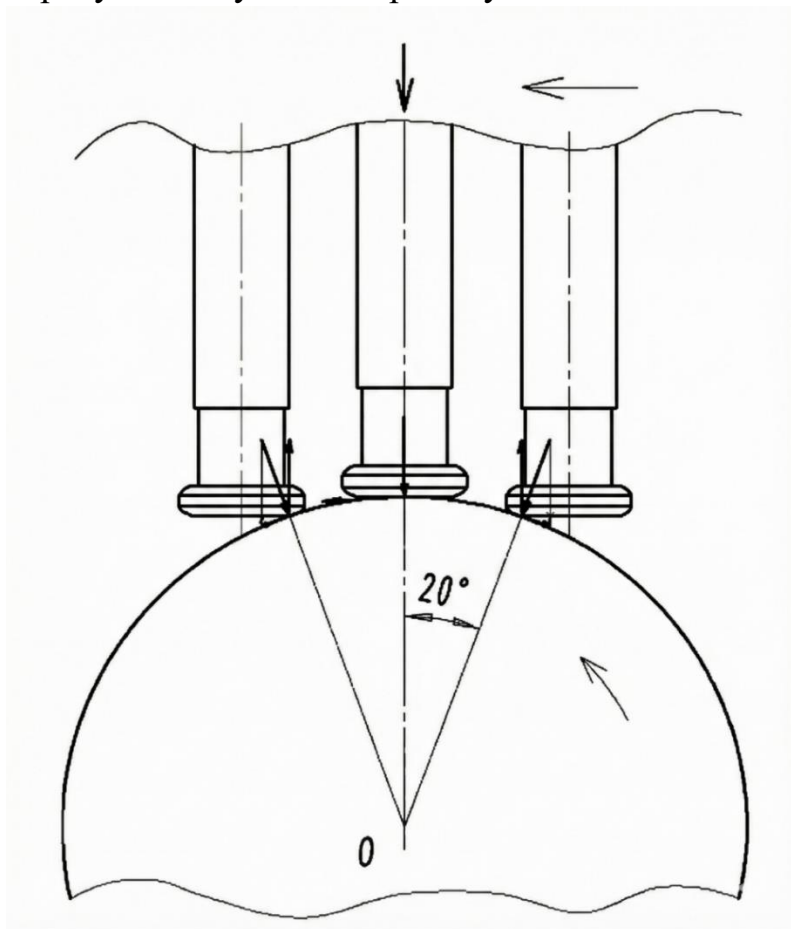


Рисунок 5.3 - Схема діючих сил.

де P - сила пресування, N - сила тяжіння, N_τ - дотична.

Сила тяжіння:

$$N = m * g$$

де g - прискорення вільного падіння, m^2/c , m - маса пуансона, кг.

Сила тертя:

$$F = f * N$$

де f - коефіцієнт тертя, $f = 0,01$.

Для крайніх пуансонів, що не зазнають дії сили пресування, розрахунок крутного моменту виконується за формулою:

$$M_1 = M_3 = N\tau * R$$

де R - плече прикладання сили (радіус копіра), $R = 0,235$ м.

Визначаємо N_τ :

$$N\tau = f * N = f * m * g$$

$$N\tau = 0,01 * 0,350 * 9,81 = 0,034 \text{ Н}$$

Тоді:

$$M_1 = M_3 = 0,034 * 0,235 = 0,008 \text{ Нм}$$

Визначаємо для другого пуансона крутний момент:

$$M_2 = N\tau * R$$

N_τ буде дорівнювати:

$$N\tau = f(N + P) = f(m * g + P)$$

$$N\tau = 0,01 * (0,35 * 9,81 + 3,02 * 10^3) = 302 \text{ Н}$$

Крутний момент:

$$M_2 = 302 * 0,235 = 70,1 \text{ Н * м}$$

Тоді загальний крутний момент:

$$M_{кр} = M_1 + M_2 + M_3 = 0,008 + 70,1 + 0,008 = 70,216 \text{ Н * м}$$

Отже, потужність, яка необхідна для роботи копіра буде:

$$N_{вих} = \frac{M_{кр} * n}{9550} = \frac{70,22 * 40,65}{9550} = 0,3 \text{ кВт}$$

Визначаємо потужності на валах:

$$N_2 = \frac{N_{\text{вих}}}{\eta_1} = \frac{N_{\text{вих}}}{\eta_{\text{ц.п}} * \eta_{\text{пп}}} = \frac{0,3}{0,97^3 * 0,99^{10} * 0,95^2} = 0,4 \text{ кВт}$$

$$N_3 = \frac{N_{\text{вих}}}{\eta_1} = \frac{N_{\text{вих}}}{\eta_{\text{к.п}} \cdot \eta_{\text{пп}}} = \frac{0,4}{0,97 \cdot 0,99} = 0,421 \text{ кВт}$$

$$N_4 = \frac{N_2}{\eta_2} = \frac{N_2}{\eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{пп}}} = \frac{0,421}{0,99 \cdot 0,99} = 0,43 \text{ кВт}$$

$$N_5 = \frac{N_3}{\eta_3} = \frac{N_3}{\eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{пп}}} = \frac{0,43}{0,96 \cdot 0,99} = 0,45 \text{ кВт}$$

Враховуючи розрахункову потужність двигуна вибираємо двигун марки АИР71А4 з характеристиками: потужність – 0,55 кВт, максимальна частота обертання – 1350 об/хв.

Визначаємо частоту обертання на кожному з валів. Для цього необхідно скористатися визначенням загального передаточного числа :

$$u_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вих}}} = u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdot u_4$$

де $n_{\text{дв}}$ - частота обертання електродвигуна, $n_{\text{вих}}$ – частота обертання вихідного валу, u_1 передаточне число циліндричної передачі, u_2 - передаточне число конічної передачі, u_3 - передаточне число пасової передачі, u_4 - передаточне число муфти.

$$u_{\text{заг}} = \frac{1350}{40,65} = 33,21$$

Приймаємо, що $u_{\text{ц.п.}} = 4$; $u_{\text{к.п.}} = 6,667$; $u_{\text{пас}} = \frac{33,21}{4 \cdot 6,667} = 1,245$

Тоді:

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 1350 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{\text{пас}}} = \frac{1350}{1,245} = 1084,3 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{u_{\text{муф}}} = \frac{1084,3}{1} = 1084,3 \text{ об/хв}$$

$$n_4 = \frac{n_3}{u_{\text{к.п.}}} = \frac{1084,3}{6,667} = 162,19 \text{ об/хв}$$

$$n_5 = \frac{n_4}{u_{\text{ц.п.}}} = \frac{162,19}{4} = 40,54 \text{ об/хв}$$

Визначаємо крутні моменти на валах

$$M_{кр} = 9550 \cdot \frac{N}{n}$$

$$M_1 = 9550 \cdot \frac{N_1}{n_1} = 9550 \cdot \frac{0,45}{1350} = 3,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = 9550 \cdot \frac{N_2}{n_2} = 9550 \cdot \frac{0,43}{1084,3} = 3,79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_3 = 9550 \cdot \frac{N_3}{n_3} = 9550 \cdot \frac{0,421}{1084,3} = 3,71 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_4 = 9550 \cdot \frac{N_4}{n_4} = 9550 \cdot \frac{0,4}{162,19} = 23,55 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_5 = 9550 \cdot \frac{N_4}{n_4} = 9550 \cdot \frac{0,3}{40,54} = 70,67 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отримані значення зводимо у таблицю 5.5.

Таблиця 5.1

	N,кВт	n, об/хв	Mкр,Нм
I	0,45	1350	3,18
II	0,43	1084,3	3,79
III	0,421	1084,3	3,71
IV	0,4	162,19	23,55
V	0,3	40,54	70,67

5.6 Розрахунок прес-інструменту

Комплект прес-інструменту формується з матриці та пуансонів. Рухомий пуансон фіксується в повзуні, переміщення якого забезпечує виконавчий механізм. Матриця монтується в столі або плиті.

Експлуатація прес-інструменту ротаційних машин супроводжується змінними навантаженнями. Це обумовлює вимогу до матеріалу: висока твердість поверхні (зносостійкість) при збереженні достатньої в'язкості та міцності внутрішньої зони.

Виробництво матриць здійснюється з використанням сталі У8А (інструментальна) або легованих сплавів ХГ, ХВГ, 12ХНЗА. Нормативна твердість виробу з інструментальної сталі після загартування становить не менше 55—60 HRC.

Виготовлення пуансона та матриці проводиться за 2-м класом точності, з'єднання виконується по посадці із зазором. Дотримання допусків та чистоти поверхні критично впливає на зношування інструменту. Конструкція матриці передбачає вхідну фаску під кутом 45° глибиною 1,5 - 2 мм. Таке рішення полегшує виштовхування таблетки і зберігає цілісність нижніх ребер. Вимога до внутрішньої поверхні - 11-й клас чистоти.

Розрахунок міцності матриці базується на моделі товстостінної труби без днищ, яка знаходиться під дією внутрішнього тиску p . Значення цього тиску приймається рівним максимальному бічному тиску q_6 .

Для внутрішнього діаметра d і зовнішнього D величини напружень на внутрішній поверхні матриці визначаються так:

Тангенціальне напруження:

$$\sigma_i = p * \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2}$$

$$\sigma_i = 37,4 * \frac{0,024^2 + 0,019^2}{0,024^2 - 0,019^2} = 163 \text{ кН}$$

радіальне напруження:

$$\sigma_r = -p$$

$$\sigma_r = -37,4 \text{ кН}$$

Еквівалентне напруження (по енергетичній теорії):

$$\sigma_{\text{екв}} = P * \frac{\sqrt{3D^4 + d^4}}{D^2 - d^2}$$

$$\sigma_{\text{екв}} = 37,4 * \frac{\sqrt{0,024^4 + 0,019^4}}{0,024^2 - 0,019^2} = 184 \text{ кПа}$$

і вона не повинна перевищувати допустимого напруження.

Матеріали пуансонів і матриць ідентичні. Режим загартування пуансонів відрізняється нижчими показниками твердості: HRC 50 - 55 (інструментальна сталь) та HRC 56 - 60 (легована сталь).

Напруження стискання в стрижні визначається:

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{37,4 * 10^3}{0,00028} = 133,6 \text{ МПа}$$

де F — площа поперечного перерізу пуансона:

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{3,14 * 0,019^2}{4} = 0,00028 \text{ м}^2$$

6. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ВУЗЛА

6.1 Симуляція заповнення матриць в модернізованому вузла РТМ41М3

Досягнення мінімальних показників відбракування та відхилення від номінальної маси таблетки безпосередньо залежить від коректності налаштування параметрів механізму дозування та інших етапів пресування. В якості експериментальної бази для аналізу кінематики дозування розглянуто установку РТМ41М3. Ця модель на сьогодні визнана індустріальним стандартом ефективності та універсальності, що дозволяє використовувати її для організації гнучких виробничих процесів різної продуктивності на фармацевтичних підприємствах.

Об'єктом даного дослідження визначено процес наповнення живильного пристрою порошковою масою на роторі преса РТМ41М3. Предметом вивчення виступає живильний вузол (фідер) машини, а саме його конструктивні особливості та експлуатаційні параметри.

6.2 Методи досліджень

Засоби EDEM Creator дозволяють здійснювати побудову та налаштування моделей дисперсних матеріалів методом дискретних елементів (DEM). Інструментарій включає визначення контактної фізики, геометричної форми та розподілу частинок. Допускається використання імпортованих CAD-даних для точного наближення геометрії часток і обчислення їхніх інерційних властивостей. Програма підтримує роботу з 3D-моделями обладнання, дозволяючи виконувати маніпуляції з компонентами та призначати індивідуальні кінематичні закони для різних груп механізмів. Генерація потоків матеріалу забезпечується технологією Particle Factory, яка використовує як нативну функціональність 3D CAD, так і прив'язку до завантаженої геометрії обладнання.

Для дослідження динаміки фармацевтичних порошків у технологічних процесах застосовано метод дискретних елементів (DEM). Даний підхід

використано для імітаційного моделювання потоку частинок у вузлі живильного пристрою таблеткового преса, а також під час заповнення матриці. Обчислення реалізовано за допомогою комерційного програмного комплексу EDEM v.6.3.1 (DEM Solutions Ltd, Единбург, Шотландія). Для опису фізики взаємодії обрано контактну модель Герца-Міндліна. У рамках цієї моделі сила, що діє в нормальному напрямку, визначається як:

$$F_n = k_n \delta_n^{\frac{3}{2}} + c_n \dot{\delta}_n$$

де δ_n - нормальне перекриття, $\dot{\delta}_n$ - відносна нормальна швидкість удару, c_n - нормальний коефіцієнт демпфування, k_n - нормальна жорсткість і визначається як:

$$k_n = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*}$$

де E^* - ефективний модуль Юнга, визначений як: $\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_i^2}{E_i} + \frac{1-\nu_j^2}{E_j}$

де E_i , E_j , ν_i , ν_j - модулі Юнга та відношення Пуассона окремих частинок і та j, що контактують відповідно, R^* - ефективний радіус, визначений як: $\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_j}$

де R_i і R_j - радіуси окремих звичайних контактуючих частинок, а c_n задається як:

$$c_n = -2 \sqrt{\frac{5}{6}} \beta \sqrt{2E^* (\sqrt{R^*} \delta_n) m^*}$$

де β визначається як:

$$\beta = \frac{\ln e}{\sqrt{(\ln e)^2 + \pi^2}}$$

де e - коефіцієнт відновлення, а m^* - ефективна маса, визначена як:

$$\frac{1}{m^*} = \frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j}$$

де m_i та m_j - маси індивідуальних контактних сфер.

Сила в тангенціальному напрямку визначається як:

$$F_t = \min \left[S_t \delta_t + 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \beta \sqrt{S_t m^*} \dot{\delta}_t, \mu F_n \right]$$

де δ_t - тангенціальне перекриття, $\dot{\delta}_t$ - відносна тангенціальна швидкість, μ - коефіцієнт тертя ковзання, S_t - тангенціальна жорсткість і подається як:

$$S_t = 8G^* \sqrt{R^* \delta_n}$$

де G^* - еквівалентний модуль зсуву. Вектор тангенціальної сили діє у площині, перпендикулярній до нормалі контакту. Напрямок цієї сили є протилежним до вектора відносної тангенціальної швидкості, а у стані спокою (при нульовій швидкості) - протилежним до вектора тангенціального зміщення δ_t . Додатково в розрахункову схему імплементовано модель тертя кочення, функцією якої є компенсація крутного моменту, що виникає при взаємодії частинок. Внесок опору коченню у результуючий крутний момент τ_R визначається залежністю:

$$\tau_R = \mu_R F_N X$$

де μ_R - коефіцієнт тертя кочення, X - відстань від центру мас до точки контакту, а ω - одиничний вектор кутової швидкості.

Для коректного відтворення фізики когезивних систем у рамках моделювання застосовано спрощену модель когезії. У цьому випадку сила когезійної взаємодії $F_{n,coh}$ визначається за формулою:

$$F_{n,coh} = k_{coh} A$$

де k_{coh} - константа зчеплення, а A - площа контакту.

Моделювання процесу наповнення живильника буде проводитися порошком властивості якого зведено в таблицю.

Таблиця 6.1

Параметр	Призначення параметру	Значення параметру
Коефіцієнт Пуассона	Гранулят	0,3
	Сталь (обладнання)	0,3
Густина матеріалу	Гранулят	2000 кг/м ³
	Сталь (обладнання)	7800 кг/м ³
Модуль Юнга	Гранулят	8,7 · 10 ⁹ Па
	Сталь (обладнання)	21,0 · 10 ⁹ Па
	Взаємодія	
Коефіцієнт реституції	Гранулят - гранулят	0,15
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,15
Коефіцієнт статичного тертя	Гранулят - гранулят	0,3
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,35
Коефіцієнт тертя кочення	Гранулят - гранулят	0,05
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,05

Твердотільну модель досліджуваного вузла було зроблено в програмному комплексі Fusion 360 та в подальшому експортовано до програмного продукту Altair EDEM (рис. 6.1).

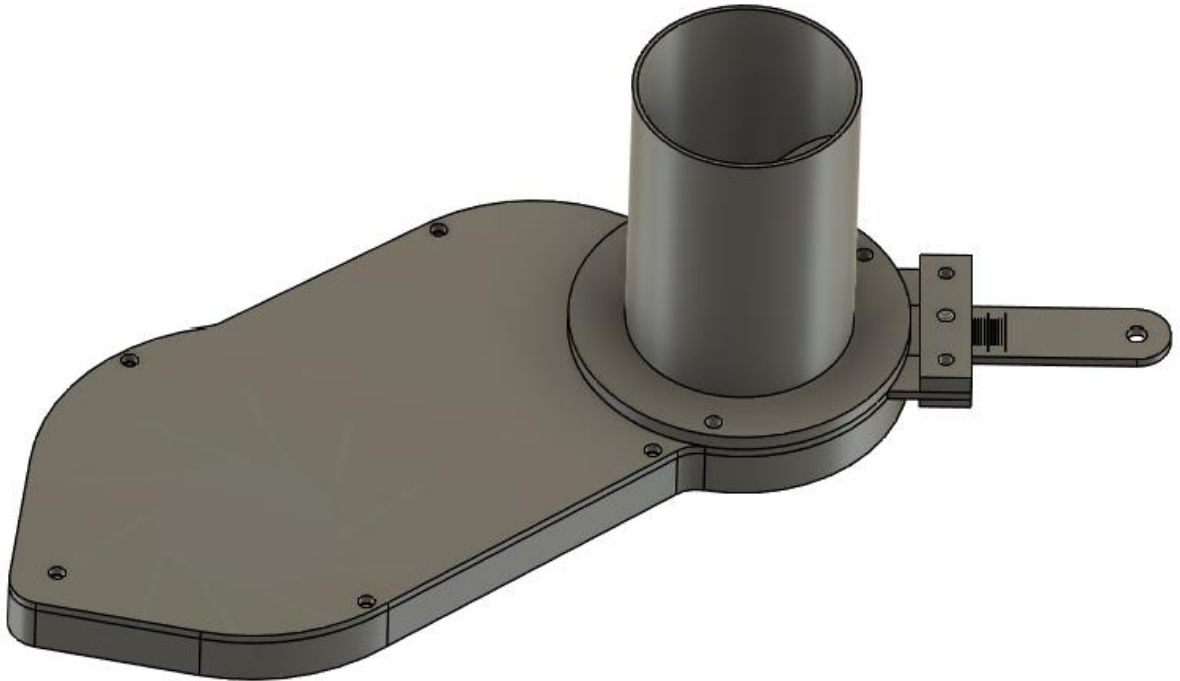


Рисунок 6.1 – 3д модель підготована для симуляції

У програмному середовищі EDEM компоненти конструкції преса за замовчуванням визначаються як «фізичні тіла» (Physical Body), що реалізують граничні умови взаємодії типу «частинка-стінка». Для ініціалізації масиву грануляту формується допоміжна об'ємна геометрична фігура в зоні живильника (див. рис. 6.2). Цьому елементу присвоюється статус «віртуальний» (Virtual), що виключає розрахунок контактних колізій між зоною генерації та самим порошком.

Для ротора задаємо швидкість 70 об/хв і вказуємо вектор осі обертання, рис 6.2.

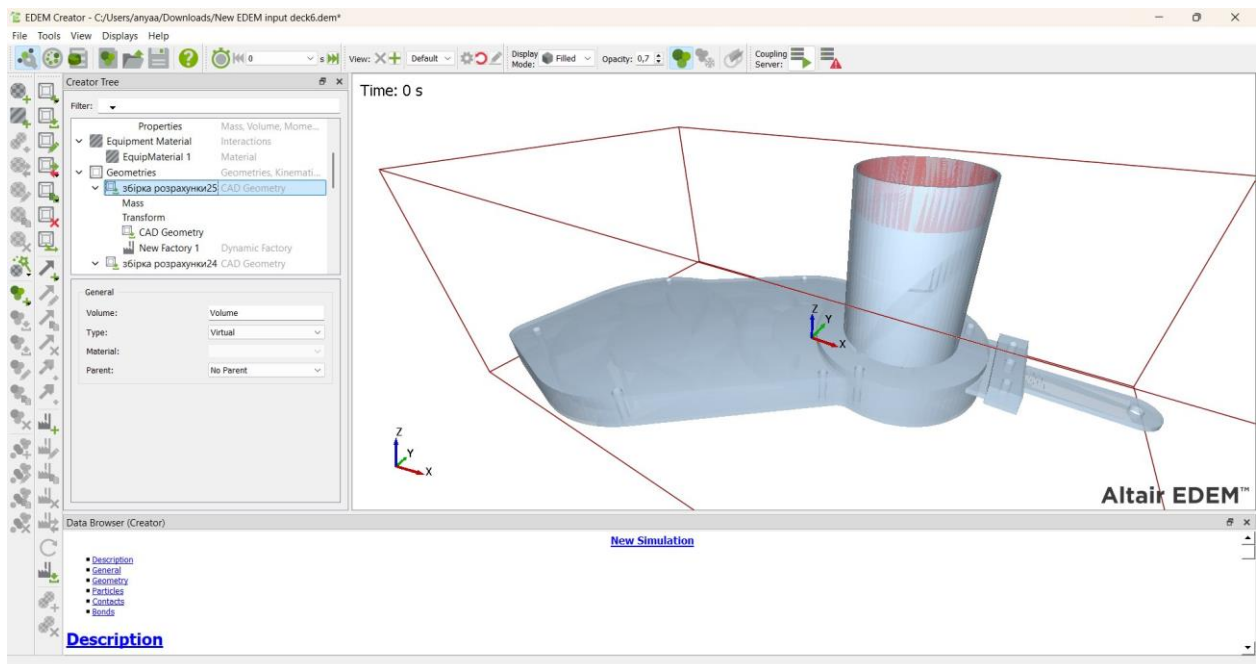


Рисунок 6.2 – Місце подачі сировини

Вказуємо швидкості і напрям осі обертання мішалок живильника, рис 6.3
Всі мішалки обертаються з однаковою швидкістю, оскільки передаточні числа відносяться як 1:1.

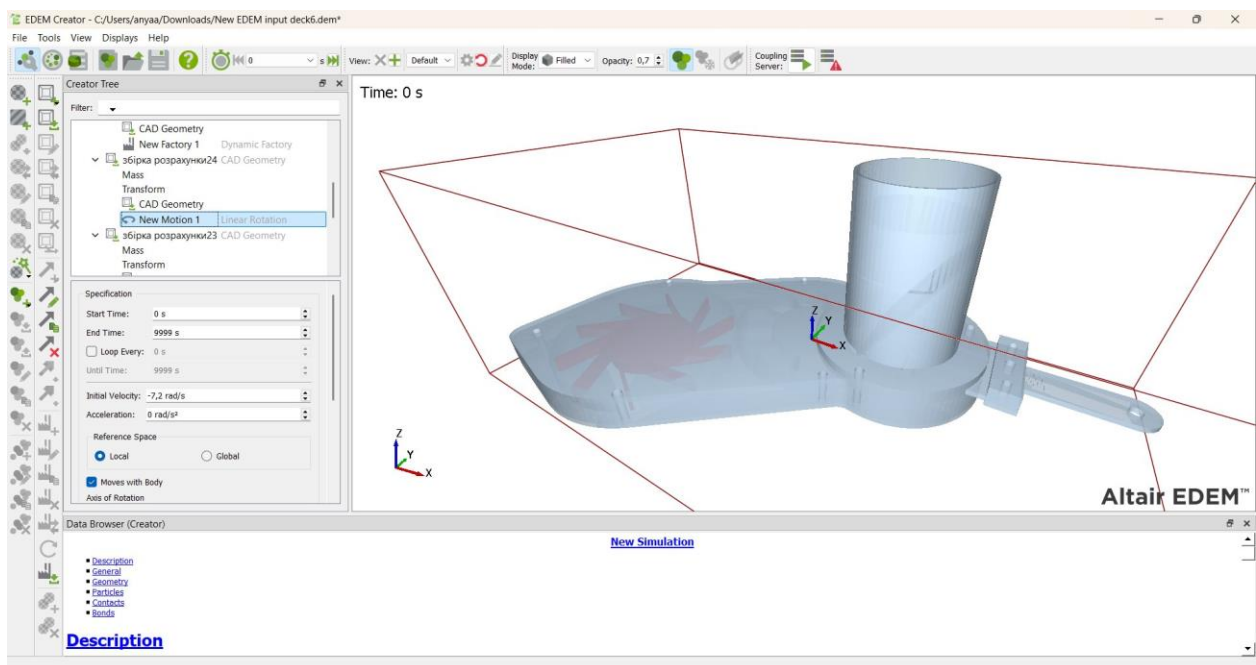


Рисунок 6.3 – Швидкість обертання зворушувача 2

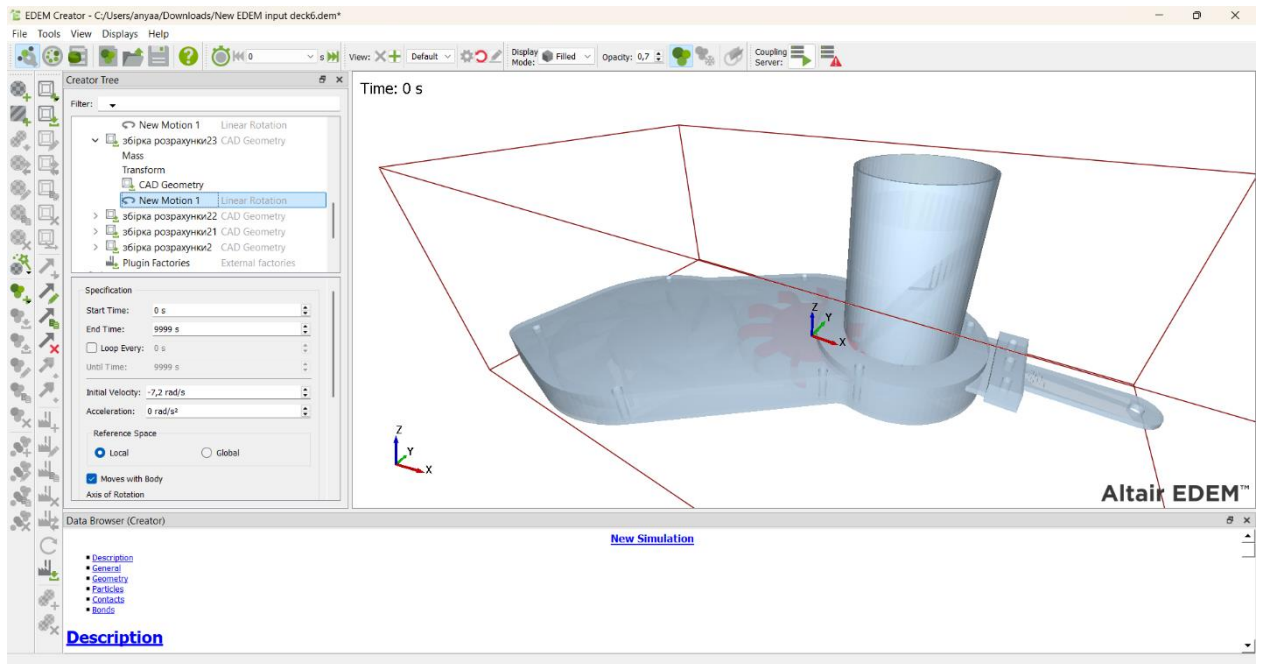


Рисунок 6.4 – Швидкість обертання зворушувача 1

Задаємо частинки порошку і вказуємо параметри згідно таблиці 2.1, рис. 6.5.

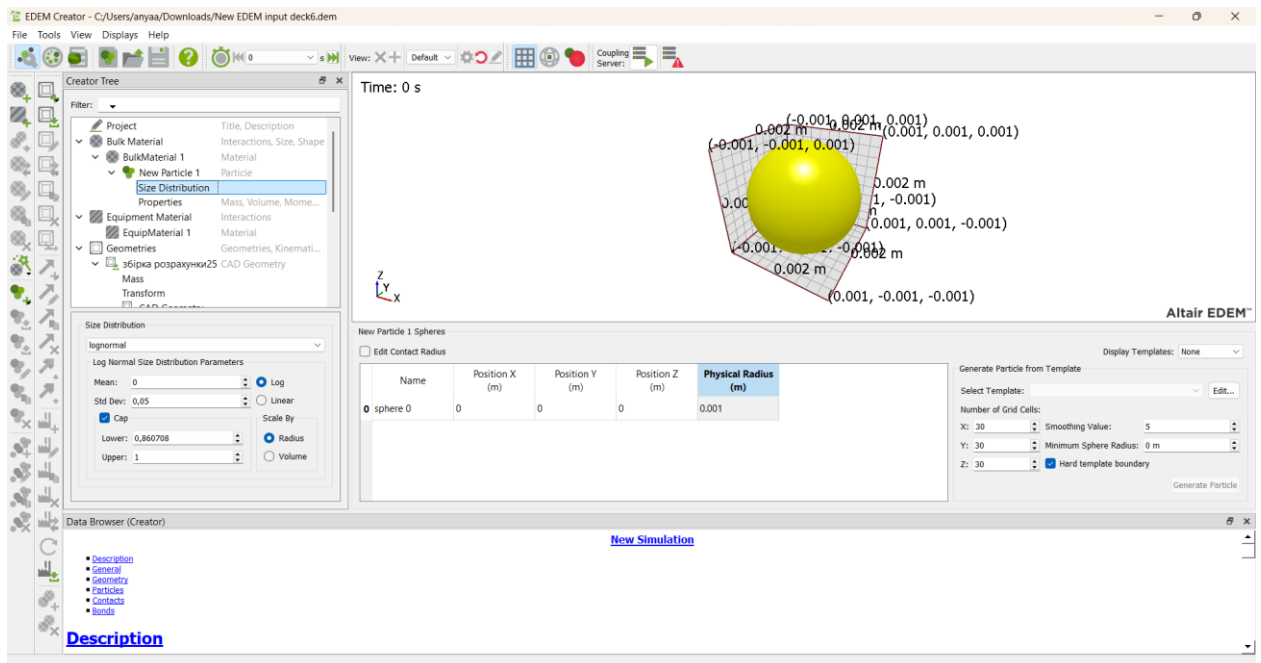


Рисунок 6.5 – Налаштування властивостей часточок

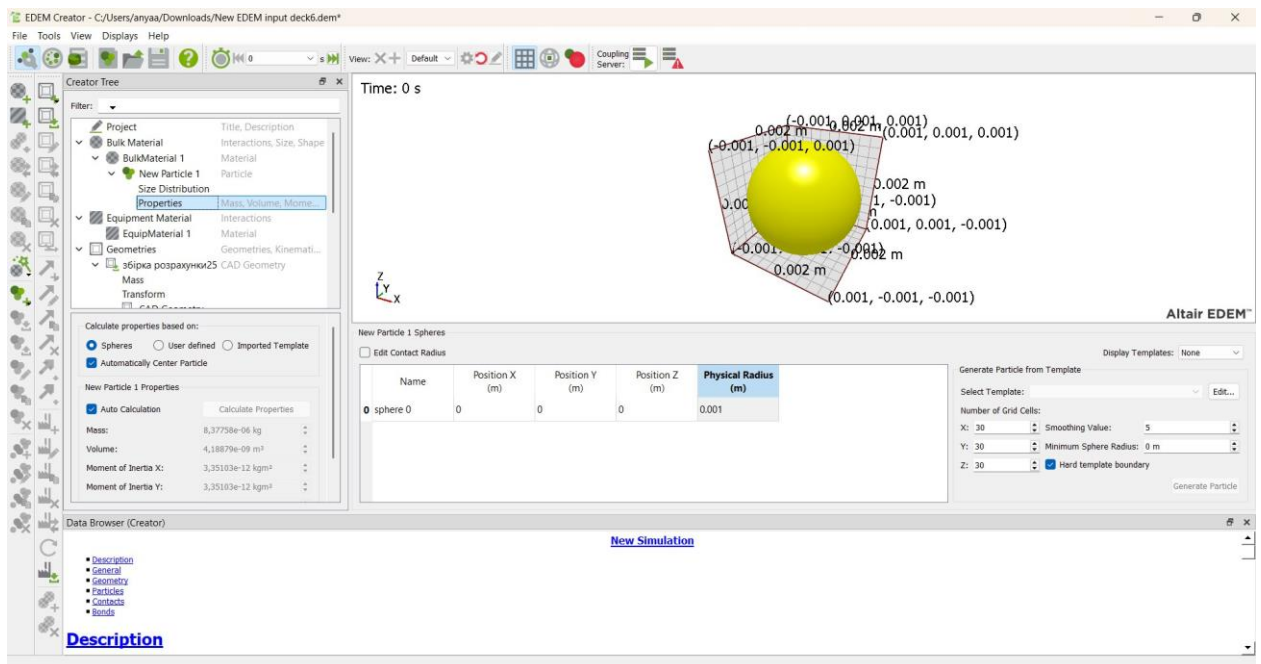


Рисунок 6.6 – Параметри розмірів часточок

В налаштуваннях симуляції процесу виставляємо крок часу 40%, розмір сітки 2,5R min, рис 6.7.

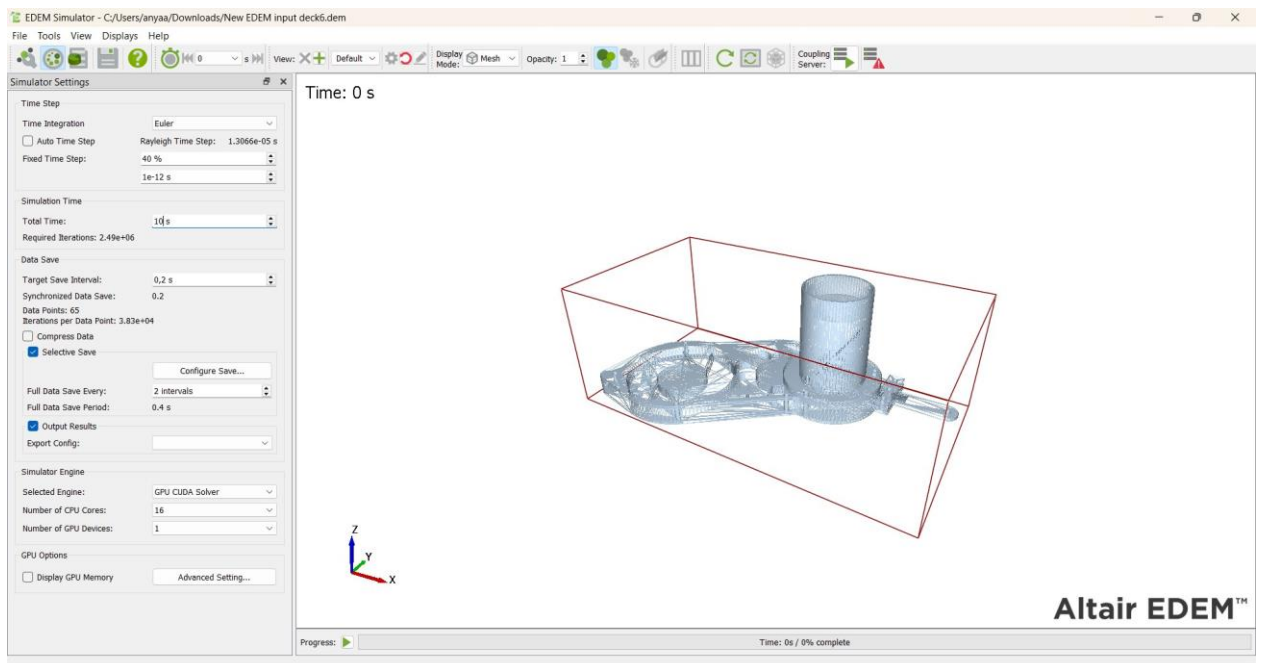


Рисунок 6.7 – Вікно параметрів симуляції

7. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На зображеннях (рис 7.1 – 7.2) можемо бачити результати проведеного моделювання. Часточки рівномірно заповнюють простір першого зворушувача та поступово перетікають у камеру другого.

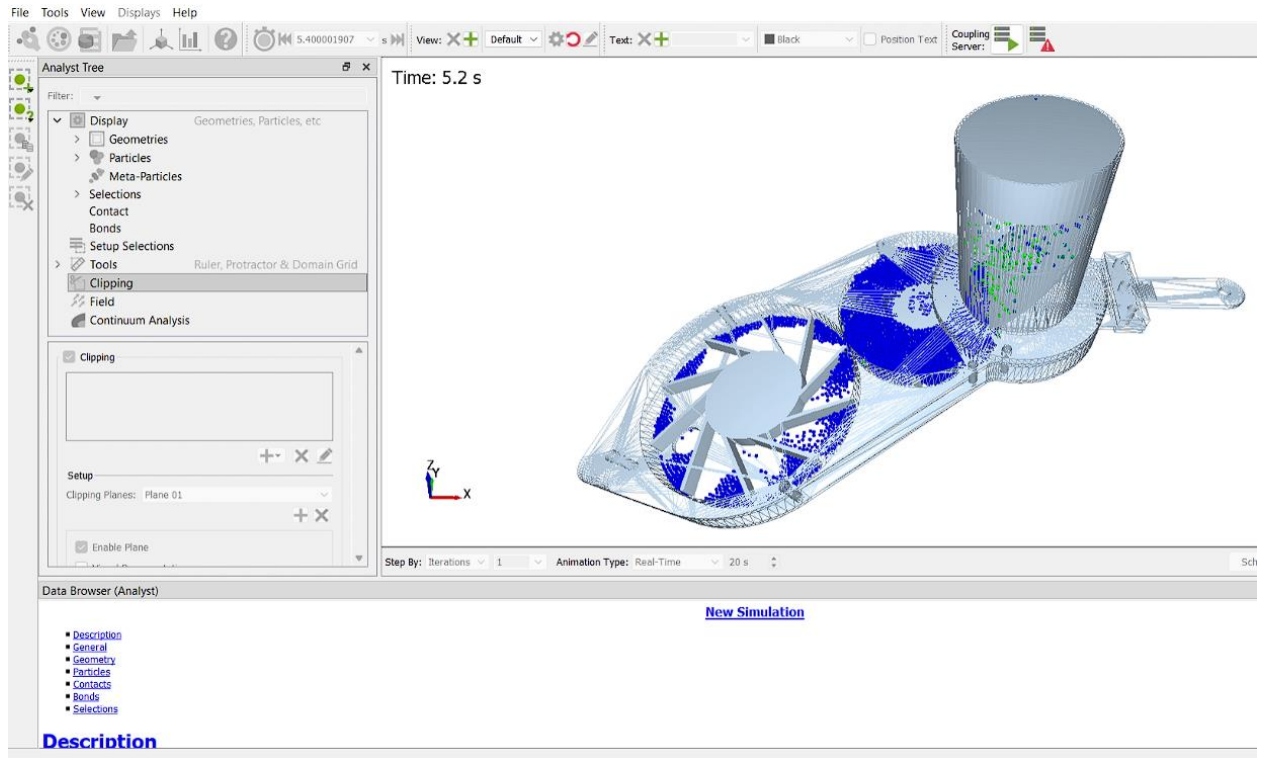


Рисунок 7.1 – Результат симуляції

На рисунку 7.2 можемо бачити роботу механізму у розрізі. На шкалі у лівій частині кадра зображена градієнтна шкала швидкості руху частинок у вузлі. Швидкість вимірюється у метрах за секунду. Також визначимо час перебування частинки від потрапляння у механізм до залишення його. Завдяки цьому параметру ми можемо визначити в яких частинах затримується сировина. Час життя показаний градієнтною шкалою на рисунку 7.3.

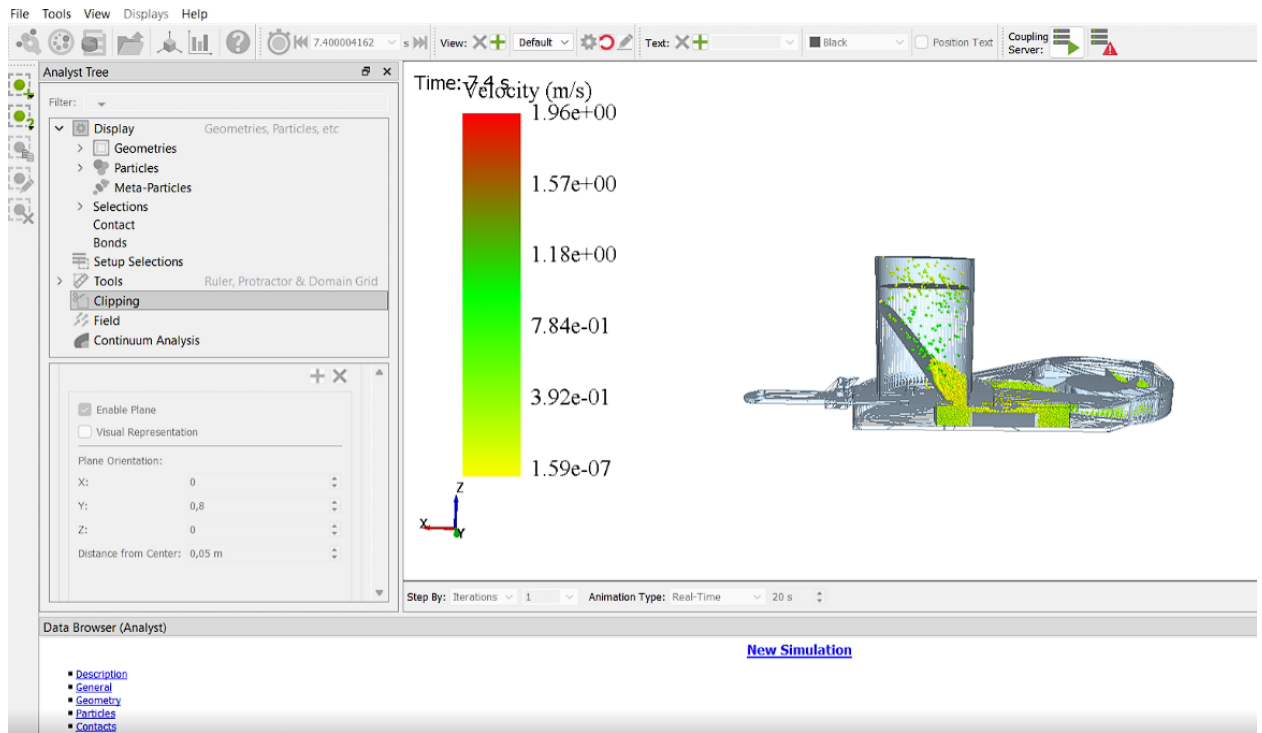


Рисунок 7.2 – Робота у розрізі

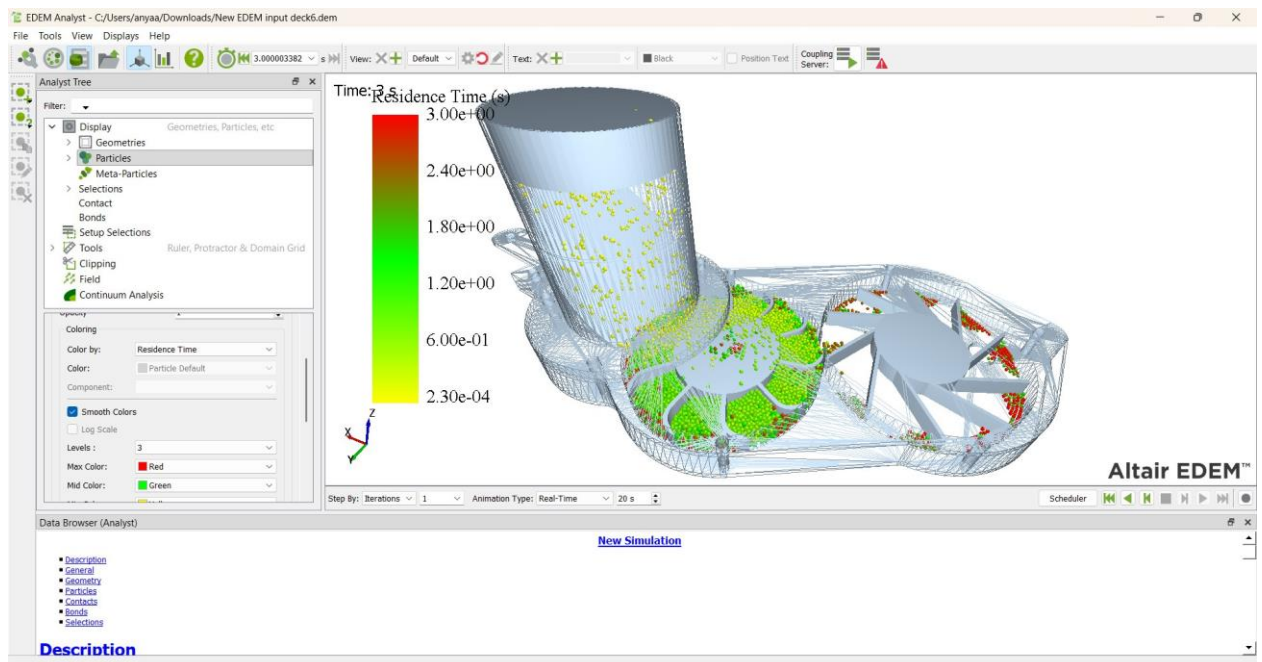


Рисунок 7.3 – Час перебування частинки у механізмі

8 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У ФАРМАЦЕВТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

8.1 Основні сплави

Номенклатура матеріалів для фармацевтичного обладнання базується на аустенітних нержавіючих сталях, серед яких основними є модифікації 316 (0Cr17Ni12Mo2), 316L (00Cr17Ni14Mo2), 304 (0Cr19Ni9), 304L (00Cr19Ni11) та 1Cr18Ni9Ti. Їхня корозійна стійкість визначається як здатність зберігати хімічну стабільність у конкретних експлуатаційних умовах, а не як абсолютна інертність. Значним фактором ризику для цих сталей є наявність у середовищі сполук хлору, що суттєво прискорює розвиток локальних видів корозії — точкової та міжкристалітної. [18]

Для протидії цьому явищу в інженерній практиці надають перевагу маркам з ультранизьким вмістом вуглецю (позначаються індексом L). Ці марки сталі вирізняється регламентованим вмістом вуглецю на рівні 0,03% або нижче. Такий хімічний склад дозволяє мінімізувати ризики міжкристалітної корозії. При цьому існуючі методи рафінування сталі забезпечують технічну можливість подальшого зменшення концентрації вуглецю нижче зазначеного ліміту. [19]

Це часто застосовується у випадках, коли необхідно отримати матеріал із підвищеною пластичністю або стійкістю до агресивних середовищ у специфічних виробничих циклах. Однак слід враховувати, що зменшення частки вуглецю у сплаві є лише одним із методів підвищення ресурсу обладнання і не вирішує проблему корозійного руйнування комплексно без урахування інших параметрів середовища.

Варто акцентувати увагу на тому, що застосування аустенітних нержавіючих сталей з ультранизьким вмістом вуглецю у фармацевтичному машинобудуванні пов'язане з трьома критичними проблемами:

1. Перевищення гранично допустимої концентрації іонів хлору (Cl-) у робочому середовищі неминує призводити до розвитку корозійних процесів навіть у спеціалізованих низьковуглецевих сплавах.
2. Навіть за незначного вмісту хлоридів, корозійна стійкість матеріалу може бути порушена внаслідок порушень технології механічної або термічної обробки виробу.
3. Зниження масової частки вуглецю негативно впливає на комплексні механічні характеристики сталі, зокрема зменшує поверхневу твердість. Це створює передумови для ерозійного зносу та утворення нерозчинних металевих частинок, особливо у вузлах тертя, що працюють на високих швидкостях.

Отже, хибним є припущення, що сталь марки 316L є абсолютно інертною або такою, що гарантовано не виділяє часток. Сам факт вибору сплаву 316L автоматично не забезпечує відповідність вимогам належної виробничої практики (GMP).

8.2 Корозія в аустенітній нержавіючій сталі та принципи захисту від неї

До найбільш поширених форм корозійного руйнування аустенітних нержавіючих сталей відносять міжкристалітну та точкову корозію. Механізм першого типу міжкристалітної корозії безпосередньо пов'язаний із термічним впливом на матеріал у процесі виробництва або зварювання. Коли метал нагрівається та утримується в критичному діапазоні температур 450–850 °C, відбувається розпад пересиченого твердого розчину. Вуглець, що має високу дифузійну рухливість, мігрує до меж зерен, де вступає в хімічну реакцію з хромом. Результатом є утворення карбідів хрому. Цей процес призводить до локального дефіциту хрому в приграничних зонах (збіднення твердого розчину), що викликає різке зниження електрохімічного потенціалу та втрату пасивного стану металу в цих ділянках. Хоча первинна електрохімічна реакція локалізується на поверхні зерен, вона характеризується високою швидкістю

поширення в глибину структури металу. Це призводить до швидкого переродження поверхневих пошкоджень у глибоку міжкристалітну корозію, що руйнує зв'язки між зернами. [20]

Точкова корозія - це вид руйнування виникає при контакті матеріалу з середовищами, насиченими іонами хлору. Механізм базується на вибірковому проникненні іонів у вразливі зони матеріалу, такі як неметалеві включення, області збіднення хромом, межі зерен або зони термічного впливу навколо зварних швів. Вступаючи в хімічну реакцію з іонами металу в цих точках, хлориди викликають локальне руйнування та утворення глибоких виразок.

Методи захисту від корозії:

1. Для мінімізації ризику міжкристалітної корозії застосовують сталі зі знизеним вмістом вуглецю. Зменшення концентрації вуглецю запобігає утворенню карбідів хрому по границях зерен.
2. Процедура обробки на твердий розчин забезпечує переведення всього вільного вуглецю в розчинений стан в аустенітній матриці при високих температурах. Це дозволяє повністю розчинити карбіди у структурі аустеніту та усунути схильність до міжкристалітної корозії.
3. Використання сталей типу 316, легованих молібденом, які утворюють стійкі пасиваційні плівки. Цей бар'єр ефективно протидіє розвитку точкової корозії, особливо в хлорвмісних середовищах.
4. Пріоритетним методом є автоматичне аргонодугове зварювання, яке забезпечує стабільність параметрів та рівномірність шва. Ручне зварювання допускається лише у випадках, коли використання автоматизованих систем технічно неможливе.
5. Для мінімізації зони термічного впливу необхідно застосовувати режими з низькими значеннями струму та забезпечувати форсоване охолодження шва (наприклад, водяне). Це дозволяє суттєво знизити ризик виникнення міжкристалітної та точкової корозії шляхом запобігання росту зерна та випадінню карбідів.

6. Після механічної поліровки зварних з'єднань обов'язковим етапом є хімічна обробка — травлення та пасивація. Особливу увагу слід приділяти внутрішнім поверхням трубопроводів чи ємностей. Процедура пасивації формує щільну оксидну плівку, яка слугує бар'єром для проникнення іонів хлору та запобігає точковій корозії. Поширена думка, що низька шорсткість поверхонь є гарантією корозійної стійкості, є помилковою: без належної пасивації навіть ідеально відполірована сталь залишається вразливою до агресивних середовищ.
7. Зменшення кількості та протяжності зварних швів. Слід мінімізувати термічне розширення та зони концентрації напружень для зниження ризику корозії.

Отримати високоякісну поверхню можна комбінацією ручного механічного шліфування та електрохімічного полірування. Цей комплексний підхід має такі переваги:

1. Електроліт видаляє забруднення, що виникли внаслідок механічного впливу, включаючи металевий пил та залишки абразивних матеріалів. Це запобігає утворенню гальванічних пар та осередків корозії в майбутньому.
2. Окрім візуального глянцю, електрополірування знижує мікрошорсткість, що полегшує видалення залишків продукту під час миття. Одночасно відбувається формування пасивної оксидної плівки, збагаченої хромом.
3. Механічне полірування часто маскує (затирає) дефекти зварних з'єднань та основного металу. Електролітична обробка, навпаки, проявляє такі проблемні зони як каверни чи пористість шва, що дозволяє виконати якісні ремонтні роботи до фінального монтажу.
4. Електролітичне полірування формує на поверхні сталі якісну пасивну плівку, що значно підвищує корозійну стійкість.

5. Забезпечується усунення залишкових внутрішніх напружень, які виникли внаслідок механічного полірування.

9 ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ВУЗЛА

Розглянемо та проаналізуємо технологію збирання вузла, модернізацію якого запропоновано вище. У вузлі дозування основними робочими компонентами є зворушувачі 11 та 12. Вони переміщують сировину від вузла дозування до матриць прес інструменту.

Повний список комплектуючих зазначено в таблиці 9.1.

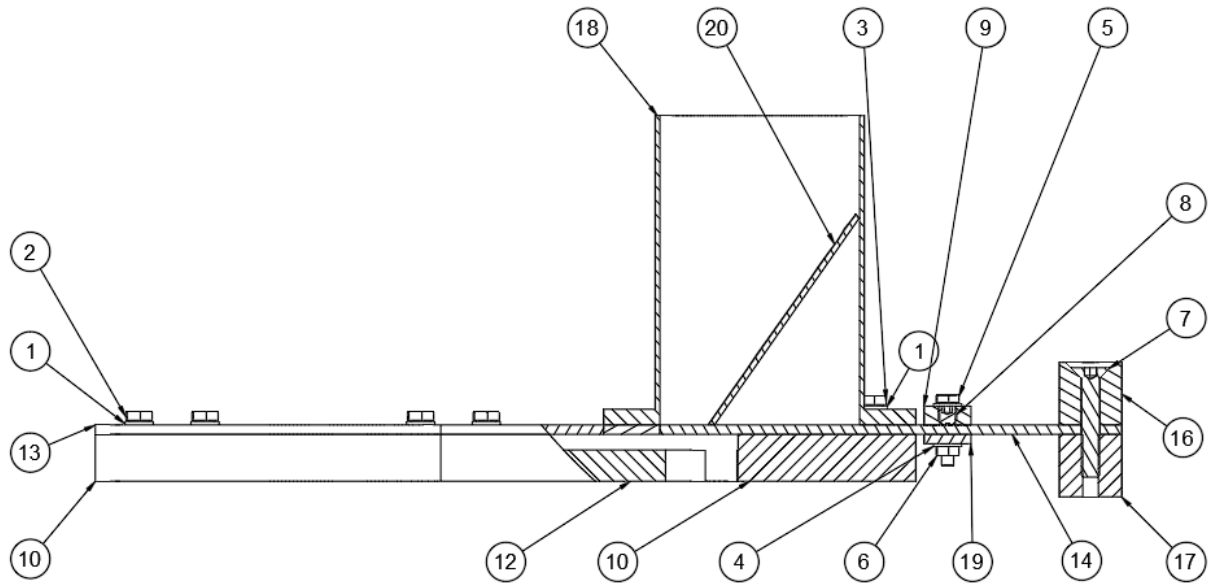


Рисунок 9.1 – Живильник

Таблиця 9.1

Складальні одиниці

Номер деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1	Шайба DIN 433 - 6 * 11 200 HV	5
2	Болт DIN 933 - M6 * 16 5.8	5
3	Болт DIN 933 - M5 * 22 4.6	3
4	Шайба DIN 433 - 4 * 8 200 HV	2

5	Болт DIN 933 - M4 * 20 4.6	2
6	Гайка DIN 934 - M4 * 0.7	2
7	Болт DIN 7991 - M6 * 35 4.6	1
8	Гужон - M6 * 6	1
9	Пластина з різьбою M6	1
10	Корпус	1
11	Зворушувач 1	1
12	Зворушувач 2	1
13	Кришка	1
14	Заслінка	1
15	Дистанційна пластина	1
16	Циліндр 20 * 20 * 6	1
17	Циліндр 20 * 20 * M6	1
18	Приймальний стакан	1
19	Пластина	1
20	Похила стінка	1
21	Шайба DIN 433 - 5 * 9 200 HV	3

Схема складання у вигляді діаграми наведено на рисунку 9.2.

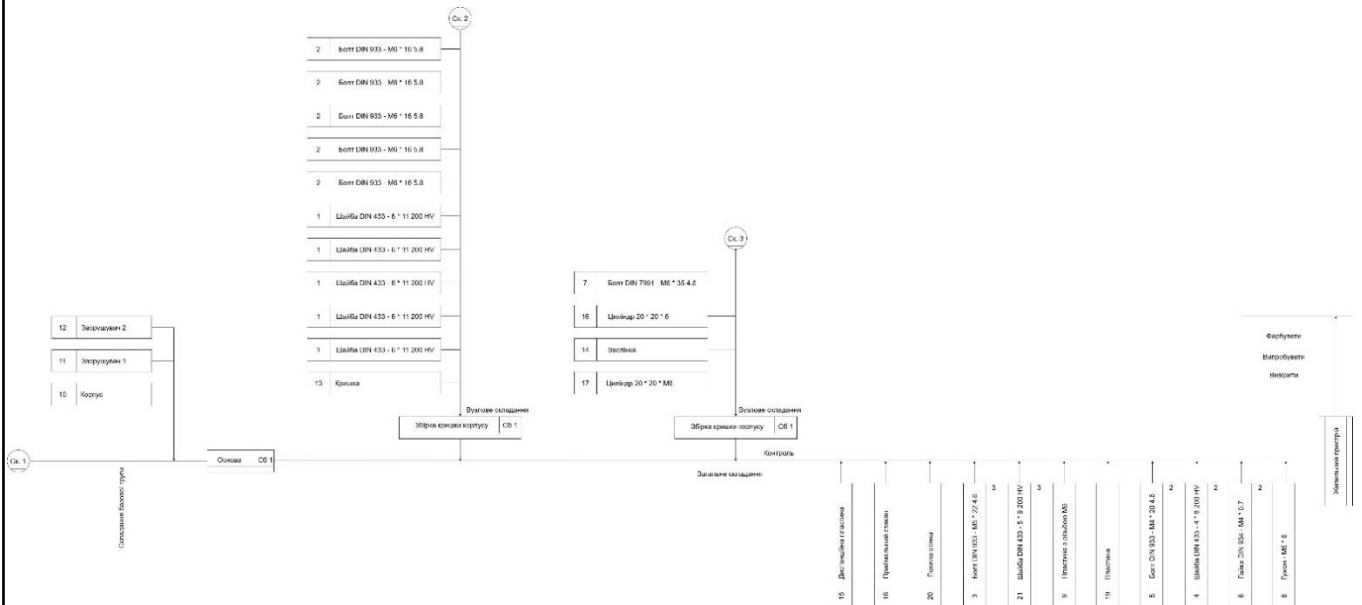


Рисунок 9.2 – Діаграма складання

Технологічна послідовність монтажу окремих вузлів візуалізована за допомогою вертикально орієнтованих стрілок. Об'єднання підготовлених складальних одиниць у єдину систему реалізується вздовж центральної горизонтальної вісі із застосуванням стандартних кріпильних виробів.

Найменування та позиційні позначення наведені всередині прямокутних блоків, при цьому складальні одиниці першого порядку графічно виділені подвійним контуром для візуальної диференціації.

10 РЕГЛАМЕНТ МОНТАЖУ, РЕМОНТУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ

10.1. Монтаж і наладка

Процес підготовки обладнання до роботи складається з етапів:

1. Розміщення машини на віброопорах. Вирівнювання проводиться за допомогою рівня на станині.
2. Очищення поверхонь від мастила бавовняним матеріалом і розчинником. Заборонено наносити розчинник на пофарбовані елементи.
3. Приєднання мотора до комплектного електрощита. Напрямок обертання тестується імпульсним пуском. Ротор має крутитися за годинниковою стрілкою.
4. Запуск холостого ходу після триденного відстоювання в опалювальному цеху. Це забезпечує сухість обмоток двигуна.
5. Алгоритм налаштування при першому включенні:

5.1. Вивірка зазору між основою живильника і дзеркалом столу. Допуск по всій площині — 0,1 мм. Порушення зазору веде до висипання порошку.

Корекція зазору вимагає зняття живильників. Контроль площини основи 24 (рис. 4.3) здійснюється лекальною лінійкою. Необхідно забезпечити перевищення над столом ротора на рівні 0,1 мм по всій площині основи.

Необхідно забезпечити щільне прилягання дозуючого ножа до столу ротора, щоб уникнути втрат порошку. В той же час проводиться корекція положення нижнього пуансона в зоні виштовхування. Допустиме перевищення його торця над дзеркалом столу становить 0,1 мм.

5.2. Встановити живильники та затягнути кріпильні рукоятки.

5.3. Усунути тиск пресування, обертаючи маховики верхніх роликів. Риски на торцях валів мають опинитися вгорі.

5.4. Виставити об'єм дози на нуль. Це досягається обертанням лімба пристрою дозування проти годинникової стрілки.

5.5. Перевірити рівень мастила в системі. Контроль здійснюється за допомогою індикатора на редукторі та перевірки маслянок штовахачів.

5.6. Увімкнути холостий хід машини і здійснити такі дії:

- встановити варіатором приводу найменшу частоту обертання ротора;
- перевірити надходження мастила до нижніх штоків і копирів. Для огляду демонтувати кришку люка нижнього огороження ротора та пересвідчитися у витіканні мастила з гусака 7 (див. рис. 4.8);
- підтвердити нормальне функціонування механізму, перевіривши відсутність шумів і вібрацій.

5.7. Наповнити бункери сировиною для таблетування. Відкоригувати її надходження до живильника регулятором подачі.

При коректній витраті матеріалу рівень у кишені з оргскла не повинен перевищувати дві третини об'єму.

5.8. Відкоригувати величину дози виходячи з необхідної ваги таблетки.

5.9. Налаштувати силу пресування верхнім роликком тиску. Процес триває до отримання показників міцності, які відповідають даним вимірювальних пристроїв.

5.10. Встановити ніж скидання так, щоб таблетка потрапляла в лоток плавно. Регулювання здійснюється переміщенням ножа вздовж площини кріплення до живильника через поздовжні пази.

5.11. Провести візуальний контроль таблетки. Її поверхня має бути чистою та рівною, без сколів і тріщин.

За умови відповідності параметрів пунктам 5.8, 5.9 та 5.11 обладнання вважається готовим до експлуатації.

10.2. Порядок роботи

Обслуговування машини здійснює один працівник. Налагодження виконує один спеціаліст.

Робочий режим обладнання визначається фізико-технічними параметрами сировини. Ключовими характеристиками є сипкість, пресуваність та вологість.

Налаштування міцності таблетки за приладами вимагає суворого контролю. Слід враховувати, що зростання тиску пресування пропорційно прискорює знос матриць.

Збільшення тиску пресування не є універсальним рішенням для роботи із сипкими матеріалами. Більший ефект забезпечує зміна структурно-механічних властивостей через коригування рецептури. Якщо матеріал не піддається пресуванню, слід мінімізувати швидкість роботи. Тип та відсоток зв'язуючих речовин, а також оптимальну вологість визначають експериментально.

Налаштування маси таблетки спрощується завдяки механізму з точним відліком по лімбу.

Проте реальна точність дозування обумовлена якістю прес-інструменту, конструкцією живильника та фізичними даними грануляту. Властивості матеріалу є ключовими. Машина РТМ 41М3 забезпечує точність у межах 2% при використанні відповідного сипкого матеріалу. Фракції розміром 0,4–1,5 мм мають складати 70–80%. Частка пиловидних частинок до 0,15 мм обмежується 12%.

Перед демонтажем нижніх штоків знімають живильники та очищають машину пирососом. Ретельне прибирання запобігає проникненню пилу всередину корпусу через отвори нижнього поясу ротора. Пил може змішатися з мастилом і поширитися по всіх механічних вузлах.

Знятий прес-інструмент складають у спеціальну тару. Необхідно уникати забоїн та подряпин, оскільки розмір кромки пуансонів становить 0,1–0,2 мм.

Монтаж верхніх і нижніх штоків є стандартною операцією. Необхідно перевірити, що в зоні виштовхування пуансон не виступає над матрицею більше ніж на 0,1 мм.

Встановлення матриць вимагає точності. Деталь покривають тонким шаром мастила I-20. Монтаж виконується суворо вертикально з використанням бронзового валика відповідного діаметру. Після цього матрицю фіксують у роторі. Штатний ключ забезпечує необхідне зусилля затягування, тому використання подовжувачів заборонено.

Машина функціонує стійко, із збереженням заданих режимів. В ході зміни необхідно стежити за витратою матеріалу. Рівень завантаження бункера не повинен опускатися нижче 1/3 об'єму. Спостереження ведеться через спеціальне вікно.

У середині зміни здійснюється змащення верхніх штоків. За необхідності рівень мастила в маслянках поповнюється.

Очищення фільтрів пирососа виконується щогодини кількома обертами маховика.

Після зміни проводиться видалення пилю. Якщо матеріал викликає корозію, робочі поверхні обробляють чистою ганчіркою з бензином.

10.3. Технічне обслуговування

Інструкція з експлуатації складається підприємством індивідуально. При розробці враховуються паспортні дані агрегату, технологія виробництва різних препаратів, а також встановлені на виробництві експлуатаційні режими.

Далі викладено узагальнені норми технічного обслуговування. Вимоги розраховані на оператора та ремонтного слюсаря.

Міжремонтне обслуговування

Міжремонтне обслуговування вимагає щоденного контролю органів управління, систем змащування і захисних екранів. Проводяться роботи з усунення дрібних неполадок і регулювання механізмів.

Міжремонтне обслуговування виконується апаратником, черговими слюсарями, електриками та мастильником. Роботи проводяться без тривалого простою обладнання, зазвичай під час перезміни або обідньої перерви.

Обслуговування передбачає очищення всього верстата, зокрема мастильних пристроїв і трубопроводів. Операції із заміни та поповнення мастила здійснюються у неробочі години за графіком служби головного механіка.

10.4 Огляди

Огляди призначені для оцінки стану обладнання, ліквідації незначних пошкоджень та розрахунку підготовчих заходів до чергового ремонту. Процедура проводиться ремонтними слюсарями не рідше одного разу на місяць. Витрати часу становлять 6–8 нормо-годин. У цей період, виходячи зі стану агрегату, виконуються такі роботи:

1. візуальний контроль без демонтажу. Мета — виявлення пошкоджень деталей, складальних одиниць і перевірка функціонування агрегату;
2. регулювання параметрів стабілізатора тиску і головного приводу;
3. налаштування пружин механізмів;
4. поглиблена ревізія системи змащування. Оцінюється стан поверхні столу ротора, копирів, роликів тиску та прес-інструменту.
5. за необхідності виконується дрібний ремонт на підставі результатів перевірки за п. 2;
6. виявлення зношених деталей із занесенням запису до попередньої дефектної відомості.

ПРИМІТКА! Заводський зазор між матрицею та пуансоном є оптимальним для більшості препаратів. Проте фізико-механічні властивості сировини можуть вимагати змін. Споживач має право відкоригувати цей параметр шліфуванням матриць або пуансонів.

10.5 Система змащення

Система змащування критично важлива для роторних машин, оскільки вони мають швидкообертові елементи з великими контактними напруженнями. Конструкція РТМ 41МЗ передбачає безперервне централізоване змащування основних вузлів. Перед подачею мастило очищується, проходячи через фільтр (рис. 10.1).

Забір мастила з картера 21 редуктора 18 здійснює шестеренчастий насос. На вході встановлено сітчастий фільтр. подача йде через трубопровід 8. Потік під тиском прямує за напрямком А до центральної осі ротора для змащення підшипників 15. Зворотний злив у картер відбувається самопливом. Одночасно насос 20 живить трубопровід 7 для змащування нижніх копіїв 16. Відпрацьоване на копіях мастило потрапляє на шестерні 17 та головки нижніх штоків. Частина рідини стікає в картер 21, інша збирається в ємності 6 і повертається трубопроводом 6.

подача мастила до верхніх штоків 14 йде від наливної маслянки 13 крапельного типу. Мастило потрапляє на фетровий язичок, який змащує головки штоків та верхні копії при ковзанні. Обсяг мастила дозується ступенем стиснення фетрового язичка. На верхніх пуансонах монтується поліетиленові чашки-збірники. У певних випадках маслянку відключають, щоб унеможливити потрапляння мастила на таблетки.

На старті зміни штоки демонтують для обслуговування. На них наносять мастило К-19 за ГОСТ 9243-75, використовуючи марлевий тампон. Ресурсу мастила достатньо для експлуатації протягом половини зміни.

Механізми, віддалені від централізованого контуру, оснащені пристроями для локального змащування. Так, подача мастила до підшипників роликів тиску 9 здійснюється через прес-маслянки 10 і 12.

подача мастила до шліців варіаторів головного приводу і підшипників опори вала варіатора здійснюється через маслянки 1, 2, 3.

Підшипники 4 живильника наповнюють мастилом у процесі монтажу.

Для моніторингу кількості мастила в картері редуктора 21 передбачено вказівник 19.

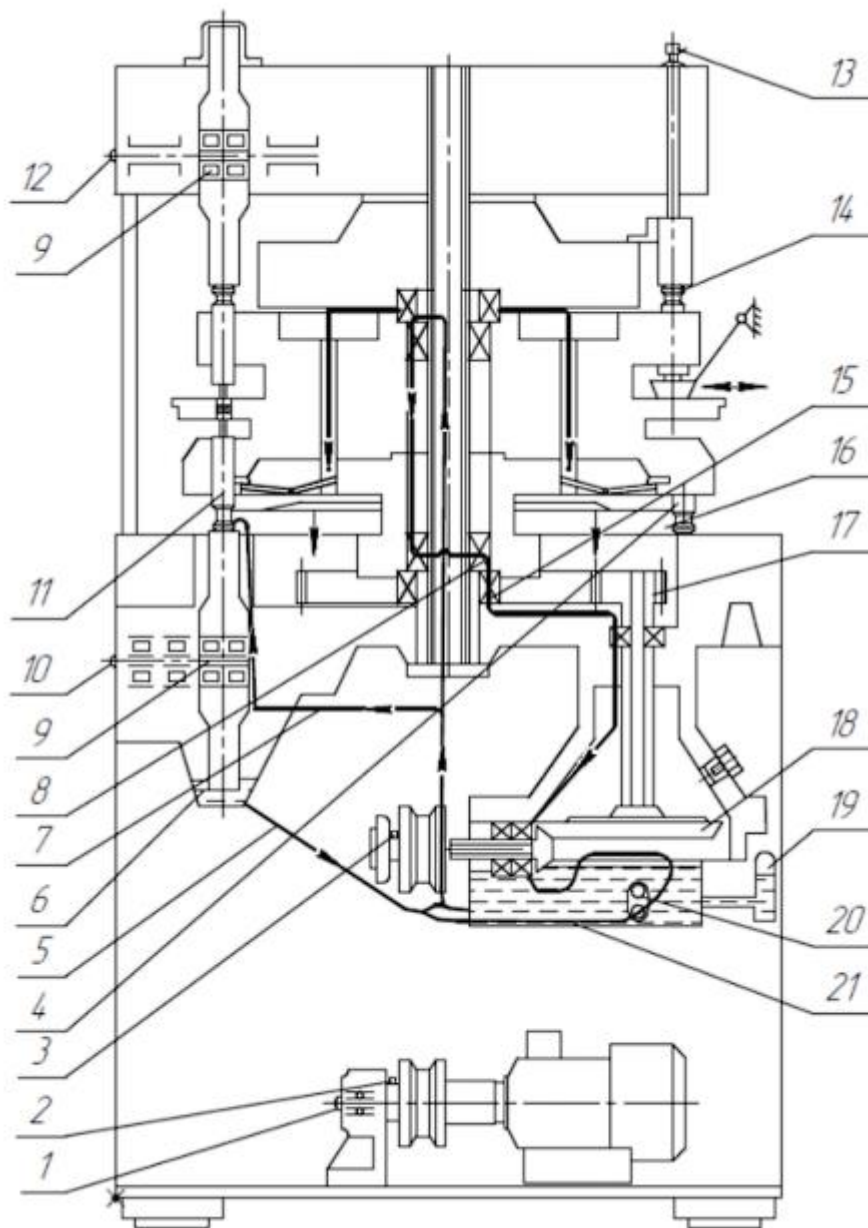


Рисунок 10.1 Схема змащування

У карті змащення агрегату РТМ41М3 регламентовано застосування мастила у вузлах тертя. Додатково наведено рекомендовані терміни заміни мастильних матеріалів.

Вибір мастила та графік його заміни залежать від режимів і умов експлуатації агрегату. Тому служба головного механіка повинна коригувати ці

норми. Враховуються специфіка експлуатації та результати огляду окремих вузлів під час регулярних перевірок.

Разом з тим, надмірна кількість мастила не збільшує ресурс деталей, а лише забруднює механізм. Змащування повинно відбуватися згідно таблиці 10.1.

Таблиця 10.1

Таблиця змащення

№ позн.	К-сть точок змащення	Вузол тертя	Маркування мастильного матеріалу	ГОСТ	Період. змащення	Спосіб подачі мастила
1	2	Підшипники опори валу варіатора	ЦИАТИМ-203	8773-73	2 рази в місяць	Місцевий
2, 3	2	Шліци варіатора	Те ж саме	8773-73	1 раз в зміну	Місцевий
9	2	Підшипники роликів			2 рази в тиждень	Місцевий
11		Нижні штоки	Масло компресійне КС-19	9243-73	Постійно	Централізований
14	1	Верхні штоки	Масло компресійне КС-19	9243-73	1 раз в зміну	Місцевий
15		Підшипники ротора	Масло компресійне КС-19	9243-73	Постійно	Централізований

16		Нижні копії	Масло компресійне КС-19	9243-73	Постійно	Централізований
17		Шестерні ротора і редуктора	Масло компресійне КС-19	9243-73	Постійно	Централізований
18		Редуктор головного привода	Масло компресійне КС-19	9243-73	1 раз в місяць	Заливка до контрольної риски

10.6 Ремонт машини роторної

Таблиця 10.2

Можливі несправності і способи їх усунення

№	Найменування несправності, зовнішній прояв і додаткові ознаки	Ймовірна причина	Метод усунення
1	Зовнішній вигляд продукції є незадовільним через присутність дефектів: механічних сколів, налипання та плям.	Невідповідність шорсткості пуансонів вимогам креслення та викришування кромки.	Потрібно провести полірування робочих поверхонь або повну заміну пуансонів.
		Аналогічно	Рекомендовано санітарну обробку та полірування пуансонів, а також опудрювання маси.

		Виявлено інгресію мастила з верхніх пуансонів у виріб.	Потрібно очистити штоки і налаштувати систему змащування.
	Розшарування таблетки.	Критичний знос матриці, недостатній конус.	Слід замінити матрицю або збільшити конус полірування.
		Перевищення робочого тиску та швидкості ротора.	Потрібно знизити оберти та зусилля стиснення.
		Низька вологість грануляту.	Збільшення вологовмісту до регламентованого рівня.
3	Матеріал не піддається таблетуванню.	Перевищено допустиму швидкість ротора.	Слід скоригувати швидкість і зусилля пресування.
		Недостатній рівень вологості, брак зв'язуючих агентів, малий тиск.	Потрібно відпрацювати оптимальну рецептуру зв'язуючих та режим зволоження маси.
4	Коливання маси виробів.	Фракційний склад не відповідає вимогам.	Слід виконати розсів для досягнення

			нормативної однорідності грануляту.
		Низька сипучість матеріалу спричиняє залягання в бункері та живильнику.	Необхідно скоригувати пропис введенням ковзних речовин.
		Невідповідність швидкості ротора амплітуді вібрації або відхилення висоти нижніх пуансонів.	Слід експериментально підібрати параметри та замінити зношений інструмент.
5	Значний розсів грануляту на площині роторного столу.	Мала подача порошку.	Відрегулювати інтенсивність подачі.
		Високий вміст пиловидних фракцій у матеріалі.	Нормалізувати фракційний склад грануляту.
		Засмічення системи пиловидалення.	Очистити фільтри та магістралі трубопроводів.
		Недостатній кут відхилення дозуючого ножа.	Збільшити кут відхилення шляхом регулювання.
		Блокування приймального отвору живильника.	Прочистити канал, зменшити витрату грануляту.
		Збільшений зазор між корпусом	Встановити зазор 0,1 мм за

		живильника ротором.	і	допомогою лекальної лінійки та щупа.
--	--	------------------------	---	--

10.7 Розрахунок основних параметрів ремонту

Роторна таблеткова машина РТМ 41МЗ належить до IV групи обладнання за тривалістю ремонтного циклу. Відповідно, категорія ремонтної складності становить $R=5,3$.

Структура ремонтного циклу:

К-О-О-О-П1-О-О-О-С-О-О-О-П2-О-О-О-К

Таблиця 10.3

Назва обладнання	ГОСТ, ТУ, марка, тип, характеристика	Категорія ремонтної складності	Норми часу на ремонтні роботи, люд.-год		
			К	С	П
Роторна таблеткова машина	РТМ41МЗ	23,0	98,0	52,5	8

1. Трудомісткість ремонту таблеткової машини:

$$t_p = T_p * R = (98,0 + 52,5 + 8) * 22 = 3487 \text{ люд. год.}$$

де T_p - норма трудомісткості ремонту в люд.год. на одну умовну одиницю.

2. Трудомісткість ремонтного циклу машини:

$$t_{p.ц.} = R(35 + 17,4 * \Sigma C + 4,4 * \Sigma П + 0,6 * \Sigma O)$$

$$= 22(35 + 17,4 + 4,4 * 2 + 0,6 * 12) = 1504,8 \text{ люд. год.}$$

3. Необхідна кількість чергових слюсарів для міжремонтного обслуговування

$$\chi_{m.o.} = \frac{\Sigma R}{D} = \frac{22}{500} = 0.044 \text{ люд./зміну}$$

тут $\chi_{m.o.}$ позначає чисельність персоналу, необхідного для міжремонтного сервісу протягом зміни. ΣR — це сумарна кількість ремонтних одиниць устаткування, що обслуговується. D — змінна норма обслуговування на одного працівника, виражена в умовних одиницях.

4. Необхідна середньорічна кількість робітників:

$$\begin{aligned} \text{Ч}_p &= \frac{(T_{PK} * \Sigma R_K + T_{PC} * \Sigma R_C + T_{PP} * \Sigma R_{II} + T_{PO} * \Sigma R_O) * K_H}{\Phi} \\ &= \frac{(35 * 98 + 17,4 * 52,5 + 4,4 * 8 + 0,6 * 0) * 1}{2000} = 2,19 \text{ люд. год.} \end{aligned}$$

тут T_{PK} , T_{PC} , T_{PP} , T_{PO} позначають нормативи трудомісткості на ремонтну одиницю при капітальному, середньому, поточному ремонті й огляді в люд.год. ΣR_K , ΣR_C , ΣR_{II} , ΣR_O - сумарний річний обсяг ремонтних одиниць за вказаними категоріями ремонтів і оглядів. K_H - коефіцієнт виконання часових норм, досягнутий минулого року, Φ - ефективний річний фонд часу робітника в годинах.

5. Тривалість ремонту обладнання:

$$A = \frac{T_p * R * K_H}{B * T_C * C} = \frac{35 * 22 * 0,9}{2 * 8 * 1} = 43,3 \text{ зміни}$$

де T_p - норма трудомісткості ремонту в люд.год. на одну умовну одиницю., R - категорія ремонтної складності, T_C - тривалість зміни в годинах, C -змінність роботи на ремонті даного обладнання, K_H - коефіцієнт виконання норм часу

$$A = 24 * P_p * \frac{R}{T_C} = 24 * 0,8 * \frac{22}{8} = 52,8 \text{ змін}$$

де P_p - норма простою обладнання в ремонті на одну ремонтну одиницю.

Затрати праці на ремонтні і профілактичні роботи

$$P = a \cdot R$$

$$P_O = 0,6 \cdot 22 = 13,2 \text{ год}$$

$$P_{II} = 4,4 \cdot 22 = 96,8 \text{ год}$$

$$P_C = 17,4 \cdot 22 = 382,8 \text{ год}$$

$$P_K = 35 \cdot 22 = 770 \text{ год}$$

По графіку ППР 6 оглядів, 1 поточний, 1 середній

10.8 Трудомісткість слюсарних і верстатних робіт

$$P_{\text{СЛ}} = R \cdot a_{\text{СЛ}} \cdot n$$

Огляд: $P_{\text{СЛ}} = 0,6 \cdot 22 \cdot 6 = 79,2$ норма. год.

Поточний:

$$P_{\text{СЛ}} = 3 \cdot 22 \cdot 1 = 66 \text{ нормо. год.}$$

$$P_{\text{СТ}} = 0,9 \cdot 22 \cdot 1 = 19,8 \text{ нормо. год.}$$

$$P_{\text{інші}} = 0,5 \cdot 22 \cdot 1 = 11 \text{ нормо. год.}$$

Середній:

$$P_{\text{СЛ}} = 12 \cdot 22 \cdot 1 = 264 \text{ нормо. год.}$$

$$P_{\text{СТ}} = 3,6 \cdot 22 \cdot 1 = 79,2 \text{ нормо. год.}$$

$$P_{\text{інші}} = 1,8 \cdot 22 \cdot 1 = 39,6 \text{ нормо. год.}$$

10.9 Трудомісткість інших видів роботи:

$$P_{\text{ін}} = P_{\text{заг}} - (\Sigma P_{\text{СЛ}} + \Sigma P_{\text{СТ}})$$

$$P_{\text{ін}} = (13,2 + 96,8 + 382,8 + 770) - (79,2 + 66 + 264 + 19,8 + 79,2) \\ = 754,6 \text{ норма. год}$$

10.10 Правила зберігання і транспортування

Упакований агрегат підлягає зберіганню в складських приміщеннях споживача. Умови повинні відповідати групі 2(С) згідно з ГОСТ 15150-69.

Перевезення роторної таблеткової машини РТМ 41М3 з комплектуючими можливе всіма типами транспорту. Вантаж розміщують на відкритих засобах. Процес регулюється правилами перевезення вантажів, встановленими для кожного виду транспорту.

Умови перевезення визначаються групою 8(ОЖЗ) за ГОСТ 15150-69. При розміщенні в морських трюмах застосовується група 3(ЖЗ).

Кантувати і скидати ящики заборонено.

Вантаж підлягає надійному кріпленню на транспортному засобі.

10.11 Відомості про консервацію та упаковку

Роторну таблеткову машину РТМ 41МЗ необхідно захистити від корозії на час транспортування та зберігання. Процес консервації виконується в такій послідовності:

знежирити та просушити всі металеві поверхні, включно з тими, що мають неорганічне покриття. Корозійні пошкодження металу та дефекти гальваніки не допускаються;

для знежирення застосовувати протирання уайт-спіритом або аналогічними розчинниками;

нанести консерваційне мастило НГ-203 згідно з ГОСТ 12328-77 на зовнішні поверхні без лакофарбового покриття.

По завершенні консервації машину РТМ 41МЗ, комплектуючі, документацію, електрощит та установку 3024 необхідно упакувати. Об'єкти обгортають двома шарами парафінованого паперу ГОСТ 9569-79 і перев'язують шпагатом ГОСТ 17308-71. Фіксація здійснюється в ящику, обшитому зсередини папером згідно з ГОСТ 515-77.

10.12 Розконсервування

У разі невведення машини в експлуатацію протягом 3 років з дати відвантаження заводом, споживач зобов'язаний провести переконсервацію. Процес розконсервування включає: розпакування, видалення захисної плівки, обробку уайт-спіритом або іншим розчинником та осушування. Необхідно слідкувати, щоб розчинник не потрапив на пофарбовані поверхні. Консервація здійснюється шляхом нанесення консистентного мастила на зовнішні металеві поверхні.

11 ОХОРОНА ПРАЦІ

11.1 Загальні положення

Технічні умови експлуатації роторної машини РТМ41МЗ, яка має вибухобезпечне конструктивне виконання, вимагають її розміщення у виробничих приміщеннях, що відносяться до категорії Б згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016. [21]

Ця категорія визначає приміщення як вибухопожежонебезпечні. До них належать об'єкти, де в технологічному процесі обертаються горючий пилю, волокна або легкозаймисті рідини з температурою спалаху понад 28 °С. Ключовим критерієм категоризації є здатність цих речовин утворювати вибухонебезпечні суміші, розрахунковий надлишковий тиск вибуху яких перевищує 5 кПа.

З точки зору електробезпеки (НПАОП 40.1-1.21-98), приміщення повинно відповідати класу В-Іа, що характеризує зони, де небезпечні концентрації пилю можливі виключно в аварійних ситуаціях. [22]

11.2 Вимоги безпеки при виробництві

1. Загальні вимоги безпеки при виробництві Сигнального підсилювача – згідно вимог наказу МСПУ № 2072 від 28.12.2017. [23] Виробничі приміщення повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.2-29:2012. [24]

2. Загальні вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки - згідно Правил пожежної безпеки в Україні та ДСТУ 8828:2019. [25] Виробничі і складські приміщення повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння.

3. Санітарно-гігієнічні показники мікроклімату і вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042:1999. [26]

4. Виробничі приміщення повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією згідно з ДБН В.2.5-67:2013. [27]

5. Освітлення на робочих місцях повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2019. [28]

6. Виробничі і санітарно-побутові приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.2-28:2011. [29]

11.3 Правила безпеки

- Користувач несе персональну відповідальність за забезпечення режиму доступу, який унеможливорює контакт із обладнанням та його експлуатацію особами, що не володіють необхідними навичками.
- Регламент зобов'язує користувача невідкладно звітувати про виявлені зміни технічного стану, які призводять до зниження рівня безпеки експлуатації установки.
- Користувачеві необхідно організувати виробничий процес таким чином, щоб експлуатація установки РТМ41МЗ відбувалася постійно і виключно в умовах, що класифікуються як нормальні.
- Категорично заборонено використання виробничих технологій, що можуть спричинити зниження ефективності захисних систем або загальних стандартів безпеки.
- Технологічний процес передбачає імперативну вимогу: будь-які роботи безпосередньо на установці виконуються тільки після завершення циклу повної зупинки всіх вузлів.
- Перед початком робіт з догляду або ремонту необхідно реалізувати комплекс заходів безпеки, спрямованих на запобігання випадковому запуску приводних механізмів та супутніх компонентів під час втручання.
- Не допускається проведення самовільних модифікацій або внесення змін з боку користувача, які можуть вплинути на функціональність захисних систем обладнання.

- Обов'язковою умовою відновлення експлуатації після завершення ремонту є проведення інспекції, яка має підтвердити, що всі демонтовані захисні пристрої та кожухи повернуто на штатні місця та надійно закріплено.
- При плануванні операцій з демонтажу або заміни механічних вузлів і деталей критично важливо враховувати їхні масові характеристики для вибору правильних методів маніпулювання.
- Процес очищення установки повинен здійснюватися у суворій відповідності до технічних приміток виробника, особливо в частині вибору хімічних засобів та розчинників, щоб уникнути пошкодження поверхонь.
- Технічні характеристики вантажопідіймального обладнання, що залучається до робіт, повинні гарантувати номінальну вантажопідйомність, яка перевищує сумарну вагу складальних одиниць, що переміщуються.
- Категорично забороняється відкривати технологічні дверцята або оглядові заслінки до моменту повної зупинки рухомих частин установки, що має бути підтверджено візуально або індикацією.
- Фіксація та стропування основного обладнання, а також розподільного щита під час монтажних робіт повинні здійснюватися виключно за спеціально передбачені конструкцією монтажні петлі (вушка).
- Після завершення складання електричних блоків або виконання суттєвих електроремонтних робіт регламент вимагає проведення контрольних вимірювань ефективності засобів захисту, зокрема перевірки величини опору контуру заземлення.
- Процес експлуатації установки РТМ41М3 повинен відбуватися з обов'язковим урахуванням та застосуванням чинних на підприємстві місцевих правил техніки безпеки та інструкцій із запобігання виробничому травматизму.

- Експлуатація, сервісне обслуговування та ремонт установки РТМ41М3 є прерогативою виключно компетентного персоналу, який пройшов належне навчання та отримав офіційний дозвіл. Програма підготовки має включати детальне вивчення потенційних ризиків та аварійних ситуацій, ймовірність виникнення яких існує в процесі функціонування та обслуговування техніки.
- Необхідно встановити персоніфіковану відповідальність за дотримання технологічних вимог під час монтажно-демонтажних робіт, введення в дію, експлуатації та ТО. Метою цього заходу є виключення «сірих зон» у розподілі обов'язків та забезпечення прозорості в питаннях безпеки та професійної компетентності.
- При здійсненні будь-яких операцій, що стосуються життєвого циклу обладнання (від складання до регулювання), критично важливо дотримуватися затверджених процедур відключення від джерел живлення. Відповідні інструкції та схеми знеструмлення наведені у технічній документації до установки.
- Конструкція та налаштування преса РТМ41М3 розраховані на роботу лише у передбаченому технологічному сегменті. Вихід за межі цієї області трактується як несанкціоноване використання, що суперечить технічним умовам. За таких обставин виробник відхиляє будь-які претензії щодо відшкодування збитків, а відповідальність за можливі аварії, пошкодження майна чи травмування персоналу покладається одноосібно на користувача.
- Дотримання нормативів, розроблених виробником, є обов'язковим критерієм узгодженої експлуатації. Це поширюється на весь комплекс технічних заходів: первинне та повторне складання, демонтажні роботи, введення в робочий режим, управління технологічним процесом та регламентне технічне обслуговування.
- Усі співробітники, які мають санкціонований доступ до місця розміщення обладнання та беруть участь у будь-якому етапі його

життєвого циклу (від первинного монтажу, демонтажу та ре-монтажу до безпосередньої експлуатації, інспекції та ремонту установки РТМ41М3), повинні бути ознайомлені з експлуатаційною документацією. Висувається сувора вимога щодо повного прочитання цього посібника з експлуатації. Пріоритетним завданням є засвоєння інформації, наведеної у розділі «Забезпечення безпеки». В якості заходу адміністративного контролю за рівнем підготовки персоналу, рекомендовано забезпечити наявність письмового підтвердження від кожного працівника, що засвідчує факт прочитання інструкцій та повне розуміння правил безпеки.

11.4 Заходи безпеки при обслуговуванні машини РТМ41М3

Конструктивне виконання машини РТМ41М3 забезпечує повну відповідність нормативним вимогам техніки безпеки, що гарантується заводом-виробником. Для запобігання травматизму всі рухомі механізми та вузли кінематики закриті спеціальними захисними кожухами та щитами. Електротехнічна частина реалізована із застосуванням захищеної проводки, а також передбачено наявність клем для приєднання до контуру захисного заземлення (загальноцехового або індивідуального).

З метою дотримання санітарно-гігієнічних норм щодо запиленості робочої зони, обладнання комплектується системою пиловидалення. Забір повітря здійснюється безпосередньо із зони найбільш інтенсивного пилоутворення на роторі, що дозволяє підтримувати концентрацію пилу в межах допустимих норм.

До експлуатації машини допускається виключно персонал, який пройшов навчання, ознайомлений з будовою агрегату та володіє знаннями загальних правил безпеки у машинобудуванні.

Розробка детальної інструкції з безпечного обслуговування покладається на технічні служби підприємства-експлуатанта.

Кожний користувач повинен дотримуватися 4 нижніх пункту:

1. Заслінки для пресування

Захист зони пресування реалізовано за допомогою рухомих заслінок, положення яких контролюється аварійними блокувальними вимикачами. Процедура передпускової підготовки включає обов'язковий щоденний контроль справності цих пристроїв для гарантування безпеки персоналу. Схема управління машиною містить жорстку залежність від стану огорожень: за наявності сигналу про відкриту заслінку пуск обладнання технічно неможливий.

Аналогічний алгоритм діє і в динамічному режимі: несанкціоноване відкриття заслінки під час обертання ротора ініціює спрацювання захисту і миттєве припинення роботи машини.

2. Заслінки на нижній поверхні корпусу

Конструкція нижньої частини корпусу передбачає наявність чотирьох технологічних заслінок, які фіксуються за допомогою замків шпингалетного типу. Відмикання цих механізмів здійснюється спеціальним ключем, обіг якого суворо регламентовано: він повинен знаходитись виключно у відповідальних осіб, допущених до технічної експлуатації установки.

Протокол безпеки вимагає суворого дотримання послідовності дій перед відкриттям заслінок. Уповноважений співробітник зобов'язаний попередньо знеструмити обладнання шляхом відключення головного вимикача на пульті управління або у розподільчому щиті.

Після відключення розподільчий щит необхідно заблокувати, щоб унеможливити випадкову подачу напруги під час проведення робіт.

3. Штепсельні з'єднання

Технологічний процес відключення установки від електроживлення вимагає фізичного роз'єднання штепсельних роз'ємів, що з'єднують її з шафою

управління. Для запобігання пошкодженню контактів та ураженню струмом встановлено чіткий алгоритм дій.

Першим етапом є переведення головного пакетного перемикача у неробочу позицію «OFF». Лише після знеструмлення лінії дозволяється приступати до виймання штепсельних вилок. Порушення цієї послідовності (розмикання під навантаженням) категорично заборонено правилами експлуатації електроустановок.

4. Перемикач аварійної зупинки

Забезпечення безпеки експлуатації таблеткового преса РТМ41МЗ гарантується наявністю аварійних перемикачів, інстальованих у відповідності до технічних директив асоціацій VDE та TÜV. Дані пристрої слугують для екстреної зупинки технологічного процесу. Після активації аварійного режиму (натискання кнопки) перемикач залишається заблокованим. Щоб відновити роботу установки, необхідно виконати примусове розблокування ланцюга безпеки.

Операція виконується поворотом рукоятки аварійного вимикача на чверть оберту, після чого контактна група замикається, дозволяючи подальшу експлуатацію.

12 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ

Згідно з принциповою електричною схемою (рис. 12.1) енергозабезпечення машини здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В і частотою 50 Гц із використанням глухозаземленої нейтралі.

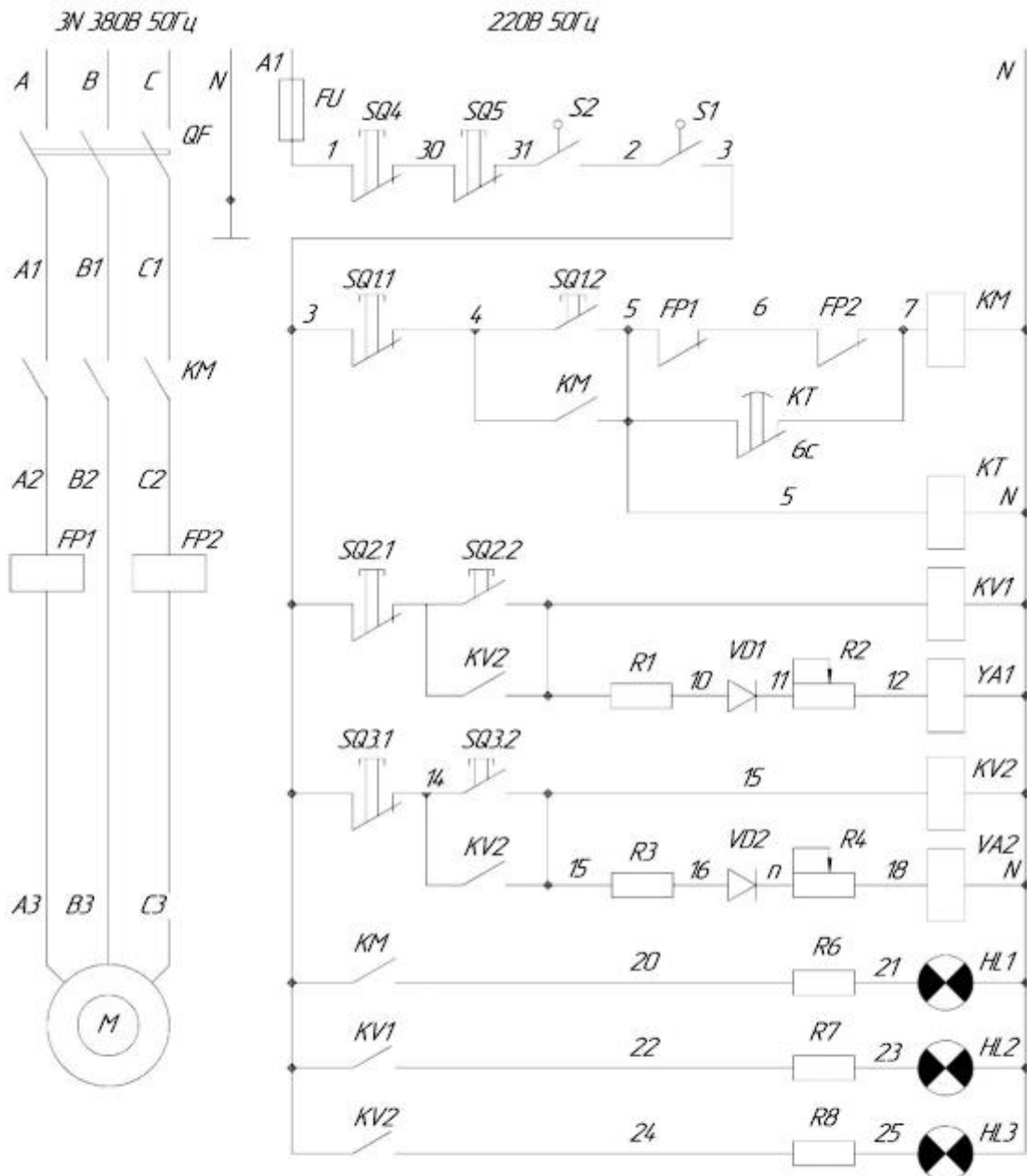
Подача напруги живлення в силові ланцюги реалізується через ввідний автоматичний вимикач OF, розміщений на електрощиті обладнання. Оперативне керування роботою головного приводу та механізму живальника здійснюється з локального пульта управління за допомогою кнопок постів SB1...SB3. Для візуального контролю роботи системи передбачена світлова індикація: лампи HL1...HL3, розташовані на панелі пульта, сигналізують про увімкнений стан приводів.

З метою забезпечення безпеки та можливості екстреної зупинки обладнання в аварійних ситуаціях конструкція передбачає наявність кнопок з грибоподібними штовхачами SB4 та SB5.

Електрична схема включає вузли захисту та блокування для безпечної та стабільної роботи обладнання. Захист електродвигуна М від коротких замикань і струмових перевантажень покладено на струмові реле FP1 і FP2.

Особливістю даного вузла є використання реле часу КТ, яке деактивує захист на короткий період пуску, дозволяючи двигуну вийти на робочий режим без відключення через високі пускові струми. В ланцюзі живлення електромагнітів вібраторів УА1 і УА2 встановлено баластні резистори R1...R4, які знижують напругу на клеммах до регламентованого рівня (не більше 160 В).

Система безпеки реалізована через кінцеві мікровимикачі SQ1 і SQ2: вони розмикають ланцюг управління, унеможливаючи запуск машини при незачинених захисних кожухах.



FP1, FP2 – Реле максимального току РТ40/20, ТУ16.523.468-78; FU – запобіжник ПРС-6-п, 1А, ГОСТ 1138-73; HL1, HL2, HL3 – лампа комутаторна КМ24-90 ГОСТ 6940-74; KM – пускач магнітний ПМЕ-211, 220В ОСТ 16.6536.001-78; KT – реле часу ВЛ-4-3-І, 220В, 1-10 с ТУ16.523.585-80; KV1, KV2 – реле проміжне РПУ-2-36202, 220В ТУ16.523.331-78; M – електродвигун 4АМ112МВ6, 4 кВт, 380В ГОСТ19523-81; QF – вимикач автоматичний АЕ2046М, 16А, ТУ16.522.064-82; R1, R3 – резистор ПЕВ25-8200м ГОСТ 6513-75; R2, R4 – резистор ПЕВР25-5100м ГОСТ 6513-75; R6, R8 – резистор ПЕВ 25-2,7 кОм ГОСТ 6513-75; S1 – мікроперемикач МП2302 ТУ16.526.208-75; SQ1, SQ3 – пост управління ПКС-122-2 ТУ16.526.216-78; SQ4, SQ5 – пост управління ПКС-222-1 ТУ16.526.216-78; VD1, VD2 – діод Д226Б ТУ11Щ163.362.002 ТУ1; VA1, VA2 – вібратор

Рисунок 12.1 - Схема електрична принципова

ВИСНОВКИ

Результатом написання даної магістерської роботи стала розроблена модернізація вузла дозування машини РТМ41М3 виготовлення таблеток роторного типу продуктивністю 200 тис. шт/год. На модернізований вузол було розроблено конструкторську документацію у розмірі складального креслика на 2 аркушах А1 та специфікації до нього. Також було розроблено 3д модель модернізованого вузла.

В даній магістерській роботі було:

- Проведено аналіз методів вирішення поставленого завдання. Розглянуто теоретичні основи виготовлення таблеток методом пресування.
- Обґрунтовано модернізацію вузла дозування.
- Розглянуто характеристику сировини та готової продукції.
- Проведено детальний огляд будови машини РТМ41М3 виготовлення таблеток роторного типу та окремих її вузлів. У достатній мірі описано запропоновану пропозицію з модернізації.
- Зроблено технологічні розрахунки машини. Проведено розрахунок її продуктивності при заданих параметрах роботи.
- Проаналізовано конструкційні матеріали, які найкраще використовувати у вузлах та елементах фармацевтичного обладнання.
- Прописано вимоги до монтажу машини РТМ41М3 у виробничих приміщеннях. Визначено тип складності ремонту та алгоритм дій при ремонті типових несправностей обладнання. Також визначено необхідні роботи по плановому обслуговуванню машини.
- Деталізовано необхідні для дотримання правила з охорони праці під час роботи з машиною РТМ41М3 та з виробничим обладнання у цілому. Окремо розглянуто правила при ремонті та обслуговуванні верстатів.
- Зроблено огляд системи керування РТМ41М3.

Подальшою перспективою розвитку проекту є виготовлення, збірка та виробничі випробування модернізованого вузла живлення. Це допоможе покращити його параметри та спростити виготовлення вузла. А також виправлення недоліків, які виявляться під час експлуатації та покращення характеристик, ефективності та ергономіки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Дмитрієвський Д.І. Промислова технологія ліків: підручник / Д.І. Дмитрієвський, Л.І. Богуславська // Вінниця: Нова Книга, 2016. - 343 - 350 с.
2. Рубан О.А. Сучасні фармацевтичні технології: навчальний посібник / О.А. Рубан, Д.І. Дмитрієвський, Л.М. Віннік // Вінниця: Нова Книга, 2019. - 20 с.
3. Augsburger L.L. Pharmaceutical Dosage Forms: Tablets. Volume 1: Unit Operations and Mechanical Properties / L.L. Augsburger, S.W. Hoag // CRC Press, 2016. – 3rd Edition. – P. 269 – 293.
4. *Кафедра аптечної технології ліків НФаУ.*
URL: https://atl.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2023/09/lekciya_metodologija-farmaceutichnoi-rozrobki-tverdih-likarskih-form.pdf (дата звернення: 01.12.2025).
5. What are the different types of tablet presses used in manufacturing? – Pharma.Tips. *Pharma.Tips – Unlocking Pharma's Secrets: Your Ultimate Guide to Pharmaceutical Success!*. URL: <https://www.pharma.tips/what-are-the-different-types-of-tablet-presses-used-in-manufacturing> (date of access: 02.12.2025).
6. What are the different types of tablet presses used in manufacturing? – Pharma.Tips. *Pharma.Tips – Unlocking Pharma's Secrets: Your Ultimate Guide to Pharmaceutical Success!*. URL: <https://www.pharma.tips/what-are-the-different-types-of-tablet-presses-used-in-manufacturing> (date of access: 02.12.2025).
7. Промислова технологія лікарських засобів : базовий підручник для студ. вищ. навч. фармац. закладу (фармац. ф-тів) / Є. В. Гладих, О. А. Рубан, І. В. Сайко [та ін.] ; за ред. Є. В. Гладуха, В. І. Чушесова. — Вид. 2-ге, випр. та допов. — Х. : НФаУ : Новий Світ-2000, 2018. — 486 с. : іл. — (Серія «Національний підручник»).
8. Niazi S.K. Handbook of Pharmaceutical Manufacturing Formulations. Volume 1: Compressed Solid Products / S.K. Niazi // CRC Press, 2019. – 3rd Edition. – P. 35 – 42.

9. Посилкіна О.В. Інноваційно-інвестиційний розвиток фармацевтичного виробництва: проблеми та перспективи: монографія / О.В. Посилкіна, О.В. Літвінова // Харків: НФаУ, 2019. – С. 15 – 22.
10. Державна Фармакопея України. Т. 1 / ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». – 2-ге вид. – Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. – 132 – 135, 178 – 180 с.
11. Технологія ліків: навчально-методичний посібник / О.С. Шпичак, Т.А. Грошовий, І.М. Перцев та ін. - Харків: НФаУ, 2018. - 26 – 56 с.
12. Brunton L.L. Goodman & Gilman's: The Pharmacological Basis of Therapeutics / L.L. Brunton, B.C. Knollmann // McGraw Hill, 2023. – 14th Edition. – P. 687 – 695.
13. Niazi S.K. Handbook of Pharmaceutical Manufacturing Formulations. Volume 1: Compressed Solid Products / S.K. Niazi // CRC Press, 2019. – 3rd Edition. – P. 138 – 142.
14. Katzung B.G. Basic & Clinical Pharmacology / B.G. Katzung, T.W. Vanderah // McGraw Hill, 2021. – 15th Edition. – P. 645 – 648.
15. Тригубчак О. В. Дослідження оптимальних умов виготовлення таблеток кислоти ацетилсаліцилової з аторвастатином / О. В. Тригубчак // Ліки України плюс. – 2018. – №2 (35). – С. 7 – 10.
16. Сучасний стан створення, виробництва та дослідження таблетованих лікарських препаратів. Повідомлення 10. Характеристика режимів пресування таблетованих лікарських препаратів / О. В. Тригубчак, Ю. А. Равлів, Т. А. Грошовий // Фармацевтичний часопис. – 2013. – № 2. – С. 137-141.
17. Паспорт роторної таблетувальної машини РТМ 41МЗ.
18. Мичко В.О. Проектування підприємств хіміко-фармацевтичної промисловості: навчальний посібник / В.О. Мичко, Л.С. Стрельников // Харків: НФаУ, 2019. – С. 85 – 92.
19. Афтанділянц Є.Г. Матеріалознавство: підручник / Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько // Київ: Ліра-К, 2019. – С. 185 – 189.

20. Тульський Г.Г. Корозія і захист металів: підручник / Г.Г. Тульський, Е.Б. Хоботова // Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – С. 145 – 152.

21. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. Вид. офіц. Київ, 2017.

22. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний від 1998-02-20. Вид. офіц. Київ, 1998.

23. НПАОП 0.00-7.14-17. Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками. Чинний від 2018-04-10. Вид. офіц. Київ, 2017.

24. ДСТУ Б В.2.2-29:2011. Будинки і споруди. Будівлі підприємств. Параметри (ГОСТ 23838-89, MOD). На заміну ГОСТ 23838-89 ; чинний від 2012-12-01. Вид. офіц. Київ, 2011.

25. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Чинний від 2020-01-01. Вид. офіц. Київ, 2019.

26. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. Київ, 1999.

27. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. На заміну СНиП 2.04.05-91 ; чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ, 2013.

28. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний від 2019-03-01. Вид. офіц. Київ, 2018.

29. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01. Вид. офіц. Київ, 2010.

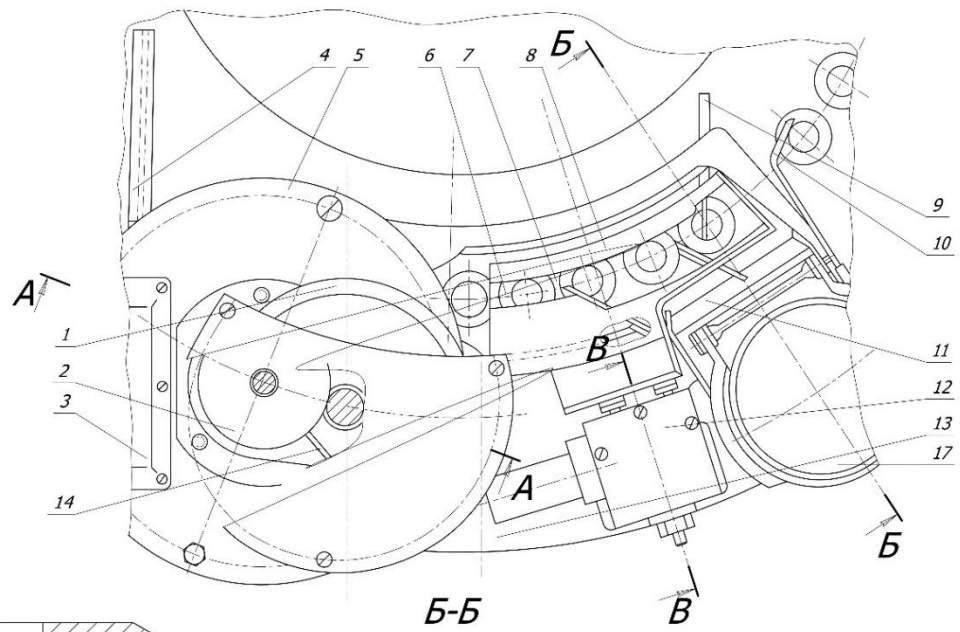
30. Технологічне обладнання галузі: методичні рекомендації до викон. лаборат. робіт для студ. спец. 7.05050313, 8.05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв», спеціалізація «Обладнання виробництв з перероблення м'яса», та напряму підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія» («Технологія зберігання, консервування та переробки м'яса») ден.

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата Арк. 3 Список використаних джерел 105 та заоч. форм навч. / Уклад.: О.М. Чепелюк, С.Д. Беседа, В.М. Таран, І.Г. Бабанов. – К.: НУХТ, 2012. – 50 с.

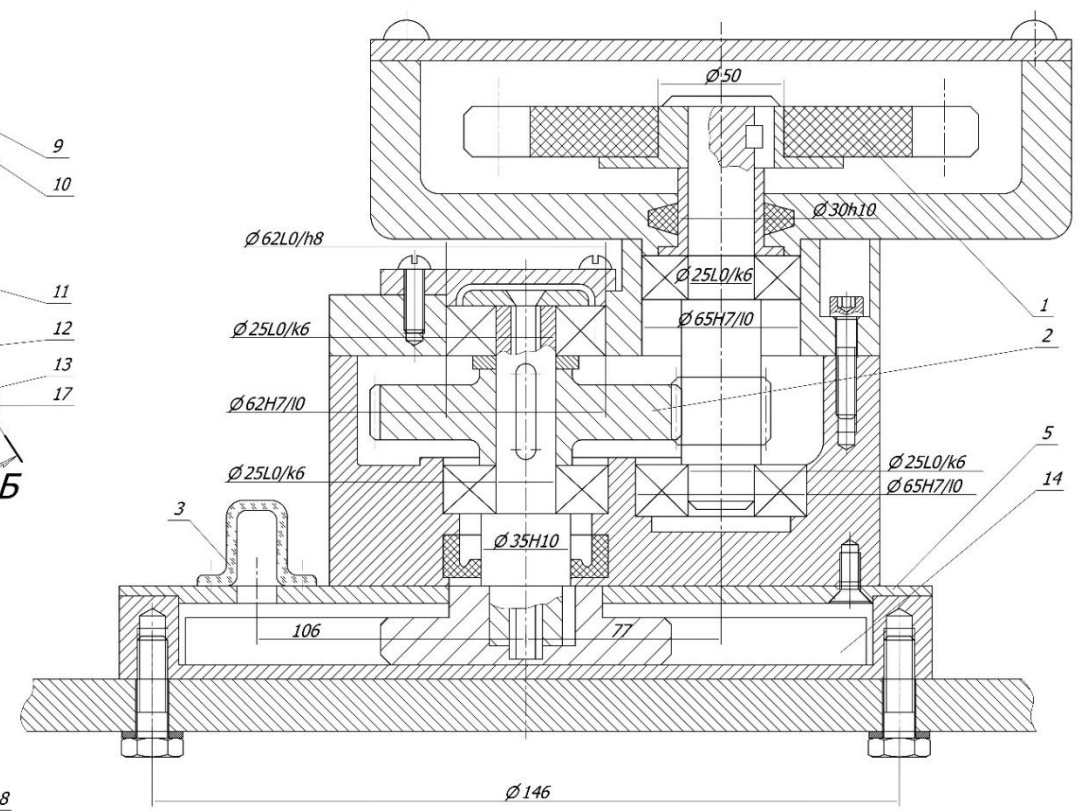
31. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія антибіотиків та лікарських препаратів» освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» усіх форм навчання / Укладач: Головей О.П. – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 121 с.

ДОДАТКИ

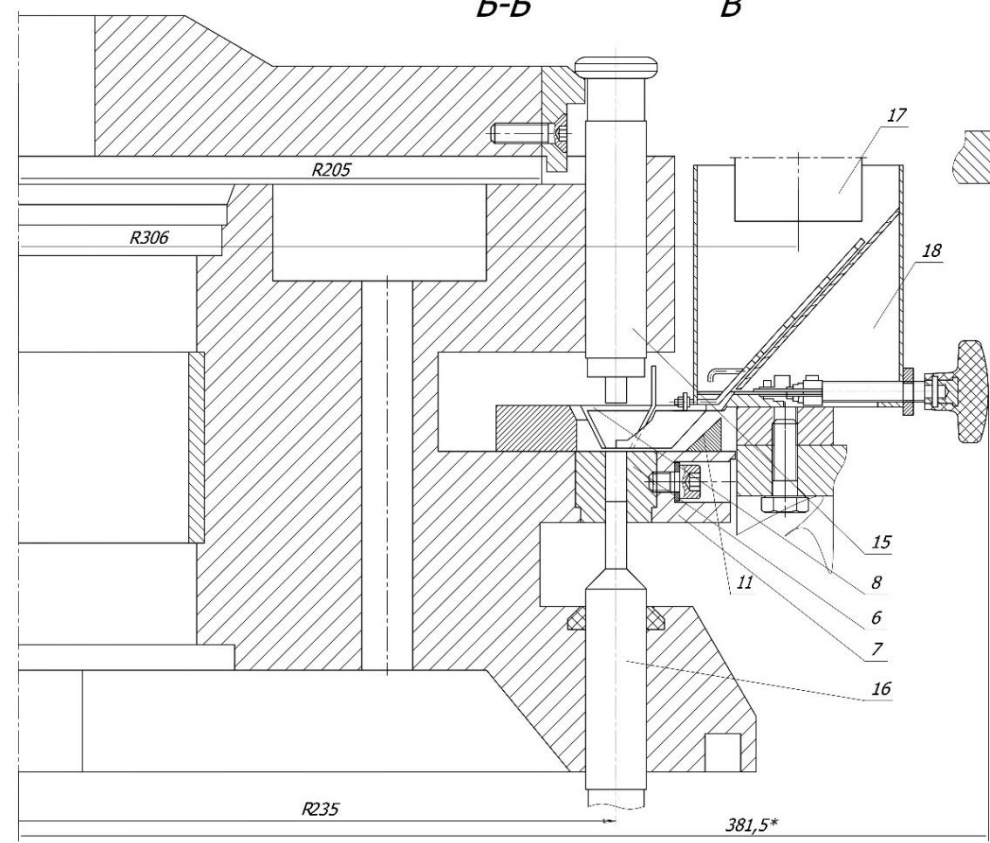
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка	
				<u>Документація</u>			
A1			240280.MP.05.00.000 СБ	<u>Складальне креслення</u>			
				<u>Складальні одиниці</u>			
		1	240280.MP.05.01.000	Станина	1		
		2	240280.MP.05.02.000	Кожух	4		
		3	240280.MP.05.03.000	Замок	8		
		4	240280.MP.05.04.000	Ротор	1		
		9	240280.MP.05.05.000	Панель	1		
		10	240280.MP.05.06.000	Маховик регулювання тиску	2		
		13	240280.MP.05.07.000	Вузол дозування	2		
		14	240280.MP.05.08.000	Пилевідсос	2		
		15	240280.MP.05.09.000	Огорожа	1		
		16	240280.MP.05.10.000	Маховик налаштування дози	2		
		17	240280.MP.05.11.000	Лоток	2		
		18	240280.MP.05.12.000	Місткість для збирання	2		
				<u>Деталі</u>			
		5	240280.MP.05.00.001	Шток	82		
		6	240280.MP.05.00.002	Копір верхній	1		
		7	240280.MP.05.00.003	Ролик тиску	4		
		11	240280.MP.05.00.004	Гайка	2		
		12	240280.MP.05.00.005	Стяжка	2		
		19	240280.MP.05.00.006	Кронштейн	2		
				<u>Інші вироби</u>			
		8		Пульт управління	1		
		20		Опора	4	Тип 06-31	
Відповідальна організація			Технічне узгодження	Розробник документа	Документ затверджено	Масштаб	
НУХТ			Чепелюк О. М.	Савіцький Є. Л.	Гавва О. М.		
Власник документа				Вид документа	Статус документа		
НУХТ, ОФ2-4М				Специфікація	Опубліковано		
				Назва, додаткова назва		230240.MP.05.00.000 СБ	
				Роторний таблетковий прес РТМ41М3	Складальне креслення	Інд. змін	Дата видання
					2025-12-20	UA	1



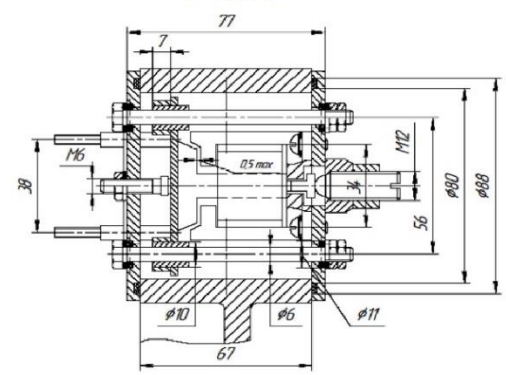
A-A (2:1)



Б-Б

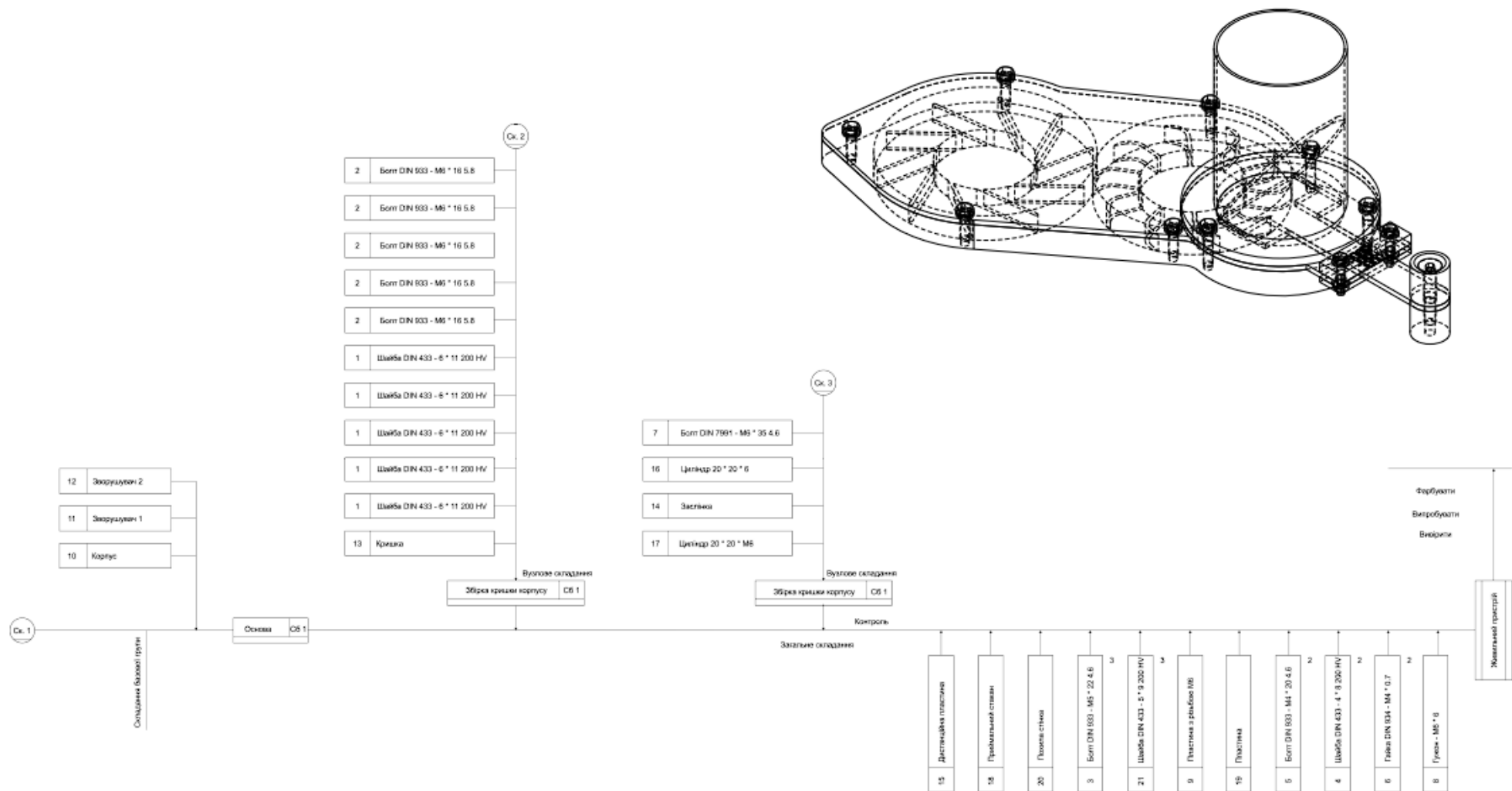


B-B(2:1)



Відомості про креслення	Технічний керівник	Розробник креслення	Діагност креслення	1:1
НУХТ	Чеплюк О. М.	Савцький Є. Л.	Гавва О. М.	
Вид документа		Статус документа		
НУХТ ОФ-2-4М		Складальний креслення		Опублікований
Мова: українська мова		Мета: довідковий		
Вузол дозування		240280 МР.05.01.000 СБ	Дата випуску	Місяць
		А	2025-12-22	UA 1
Формат А1				

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка			
				<u>Документація</u>					
A1			240280.MP.05.06.000 СБ	<u>Складальне креслення</u>					
				<u>Складальні одиниці</u>					
		12	240280.MP.05.07.01.000	Вібраційний пристрій	2				
		13	240280.MP.05.07.02.000	Корпус зворощувача	2				
		17	240280.MP.05.07.03.000	Завантажувальний бункер	2				
		18	240280.MP.05.07.04.000	Регулятор подачі порошку	2				
				<u>Деталі</u>					
		1	240280.MP.05.07.00.001	Зірочка	2				
		2	240280.MP.05.07.00.002	Шестерні	2				
		3	240280.MP.05.07.00.003	Оглядове вікно	2				
		4	240280.MP.05.07.00.004	Ніж	2				
		5	240280.MP.05.07.00.005	Кришка	2				
		6	240280.MP.05.07.00.006	Матриця	41				
		7	240280.MP.05.07.00.007	Ротор	1				
		8	240280.MP.05.07.00.008	Вібраційна рамка	2				
		9	240280.MP.05.07.00.009	Ніж відведення грануляту	2				
		10	240280.MP.05.07.00.010	Ніж скидання	2				
		11	240280.MP.05.07.00.011	Похила стінка	2				
		14	240280.MP.05.07.00.012	Ніж зворощувача	2				
		15	240280.MP.05.07.00.013	Пуансон верхній	41				
		16	240280.MP.05.07.00.014	Пуансон нижній	41				
Відповідальна організація НУХТ		Технічне узгодження Чепелюк О. М.		Розробник документа Савіцький Є. Л.	Документ затверджено Гавва О. М.	Масштаб			
Власник документа НУХТ, ОФ2-4М				Вид документа Специфікація		Статус документа Опубліковано			
				Назва, додаткова назва Вузол дозування Складальне креслення		240280.MP.05.00.000 СБ			
				Інд. змін	Дата видання	Мова	Аркуш		
					2025-12-20	UA	1		



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка	
				<u>Документація</u>			
A1			<u>240280.MP.05.01.000 СБ</u>	Складальне креслення			
				<u>Деталі</u>			
		1	240280.MP.05.01.001	Шайба DIN 433 - 6 * 11 200HV	5		
		2	240280.MP.05.01.002	Болт DIN 933 - M6 * 16 5.8	5		
		3	240280.MP.05.01.003	Болт DIN 933 - M5 * 22 4.6	3		
		4	240280.MP.05.01.004	Шайба DIN 433 - 4 * 8 200 HV	2		
		5	240280.MP.05.01.005	Болт DIN 933 - M4 * 20 4.6	2		
		6	240280.MP.05.01.006	Гайка DIN 934 - M4 * 0.7	2		
		7	240280.MP.05.01.007	Болт DIN 7991 - M6 * 35 4.6	1		
		8	240280.MP.05.01.008	Гужон - M6 * 6	1		
		9	240280.MP.05.01.009	Пластина з різьбою M6	1		
		10	240280.MP.05.01.010	Корпус	1		
		11	240280.MP.05.01.011	Зворушувач 1	1		
		12	240280.MP.05.01.012	Зворушувач 2	1		
		13	240280.MP.05.01.013	Кришка	1		
		14	240280.MP.05.01.014	Заслінка	1		
		15	240280.MP.05.01.015	Дистанційна пластина	1		
		16	240280.MP.05.01.016	Циліндр 20 * 20 * 6	1		
		17	240280.MP.05.01.017	Циліндр 20 * 20 * M6	1		
		18	240280.MP.05.01.018	Приймальний стакан	1		
		19	240280.MP.05.01.019	Пластина	1		
		20	240280.MP.05.01.020	Похила стінка	1		
		21	240280.MP.05.01.021	Шайба DIN 433 - 5 * 9 200 HV	3		
Відповідальна організація НУХТ			Технічне узгодження Чепелюк О. М.	Розробник документа Савіцький Є. Л.	Документ затверджено Гавва О. М.	Масштаб	
Власник документа НУХТ, ОФ2-4М				Вид документа Специфікація	Статус документа Опубліковано		
				Назва, додаткова назва		240280.MP.05.01.000 СБ	
				Інд. змін	Дата видання	Мова	Аркуш
					2025-12-20	UA	1